

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт нефти и газа

Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.Д. Булчаев  
подпись инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
Профиль 21.03.01.02 «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти»

Модернизация сепарационного оборудования на Ванкорском  
нефтегазовом месторождении (Красноярский край)  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_ профессор, к.ф.-м.н. Б.Б. Квеско  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ В.В. Воропаев  
подпись, дата инициалы, фамилия

Консультанты:  
Безопасность жизнедеятельности \_\_\_\_\_ Е.В. Домаев  
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ О.В. Помолотова  
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2016

## Специальная часть

Безопасность и экологичность проекта

Заключение

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

Б.Б. Квеско  
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

подпись, инициалы и фамилия студента

В.В. Воропаев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа на тему "Модернизация сепарационного оборудования на Ванкорском нефтегазовом месторождении" содержит 108 страниц текстового документа, 12 рис., 21 табл., 34 использованных источника.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВАНКОРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПУНКТ СБОРА, ФАКЕЛЬНЫЙ СЕПАРАТОР, СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ, СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Объектом исследования являются факельные сепараторы V-5710, V-5730 и V-5810, входящие в состав факельных систем низкого и высокого давления, предназначенные для очистки от капельной жидкости газа, сбрасываемого на факел.

Цель работы - определение возможности безопасной эксплуатации факельных сепараторов площадки ЦПС Ванкорского месторождения при увеличении интервала между внутренними осмотрами сосудов, а также проведение оценки эффекта от планируемой модернизации сепарационного оборудования (оснащения системой комплексного диагностического мониторинга) в сравнении с традиционным методом визуально-инструментального контроля физических дефектов.

Применение системы комплексного диагностического мониторинга (СКДМ) позволяет проводить оценку технического состояния и определять срок безопасной эксплуатации факельных сепараторов без вывода их из эксплуатации, что позволяет значительно увеличить срок непрерывной эксплуатации сепарационного оборудования (с 2 до 8 лет), при этом на данных объектах обеспечивается достаточный уровень безопасности, соответствующий требованиям действующей нормативно-технической документации в области промышленной безопасности.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Географо-экономические сведения о месторождении .....	7
2 Специальная часть.....	11
2.1 Проблема вывода из работы факельных сепараторов площадки ЦПС для проведения внутренних осмотров и гидравлических испытаний .....	11
2.2 Описание объекта исследования.....	13
2.2.1 Центральный пункт сбора .....	13
2.2.2 Факельные сепараторы на площадке ЦПС .....	14
2.3 Методы неразрушающего контроля .....	17
2.3.1 Акустико-эмиссионный контроль .....	18
2.3.2 Характерные особенности метода акустической эмиссии.....	23
2.4 Диагностический мониторинг.....	26
2.5 Требования в области промышленной безопасности .....	32
2.6 Результаты оценки риска аварии и связанной с ней угрозы.....	35
2.6.1 Описание методологии анализа опасностей и оценки риска аварии и связанной с ней угрозы. ....	35
2.6.2 Описание метода анализа условий безопасной эксплуатации .....	37
2.6.3 Вероятность разгерметизации емкости ФС без отступления от норм и правил .....	40
2.6.4 Вероятность разгерметизации емкости ФС после отступления от норм и правил и установки СКДМ.....	48
2.6.5 Выводы .....	55
2.7 Организационные требования, отражающие особенности эксплуатации факельных сепараторов .....	57
2.8 Анализ опыта эксплуатации подобных опасных производственных объектов.....	59
2.9 Анализ результатов осуществления производственного контроля, проводимого в рамках системы управления промышленной безопасностью .	61
2.10 Исходные данные и их источники, в том числе данные по аварийности и надежности.....	61
2.11 Анализ опасностей отклонений технологических параметров от регламентных .....	67
2.12 Результаты идентификации опасности, в том числе по проведению анализа опасностей отклонений технологических параметров от регламентных .....	70
2.13 Схема развития аварийных ситуаций на факельных сепараторах ЦПС.	71
2.14 Перечень наиболее значимых факторов риска аварии на ЦПС и связанной с ней угрозы.....	73
2.15 Условия безопасной эксплуатации факельных сепараторов .....	74
2.16 Требования к квалификации персонала .....	80
2.17 Определение набора параметров и выбор основных показателей безопасной эксплуатации опасного производственного объекта .....	81

2.18	Требования промышленной безопасности, связанные с отступлениями от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, их недостаточностью или отсутствием.....	88
2.19	Перечень и обоснование достаточности мероприятий, компенсирующих отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности .....	88
3	Безопасность и экологичность проекта.....	90
3.1	Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при работе оборудования .....	90
3.2	Проектные решения по обеспечению безопасности труда на проектируемом оборудовании .....	91
3.3	Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования .....	93
3.4	Обеспечение безопасности технологического процесса.....	95
3.5	Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности.....	97
3.6	Обеспечение безопасности при аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	99
3.7	Экологичность проекта .....	101
	Заключение .....	103
	Список использованных источников .....	104

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развитие Ванкорского нефтегазового месторождения близко к вершине своего жизненного цикла разработки. Уровень добычи нефти на месторождении в 2015г. превысил 21млн. тонн. Учитывая высокие плановые показатели по добычи, любая незапланированная остановка, вызванная происшествиями, связанными с износом оборудования, может привести как к невыполнению обязательств добывающего Общества (ООО "РН-Ванкор") по объемам сдачи нефти в единую систему трубопроводов АК "Транснефть".

При этом физический износ оборудования ставит под угрозу нормальное функционирование всего взаимосвязанного процесса добычи, подготовки и перекачки нефти, и может привести к локальным аварийным ситуациям. Для предотвращения подобных происшествий в ООО "РН-Ванкор" строго соблюдают сроки технических освидетельствований (в том числе периодических осмотров), регламентированных руководствами по эксплуатации оборудования и сосудов, работающих под давлением.

Однако, в связи с вводом в эксплуатацию крупных технологических площадок (таких как ЦПС - Центральный пункт сбора) возрастает и сложность процессов обслуживания оборудования, включенного в технологические установки по сбору и подготовке нефти и газа. Если на месторождении еще предусмотрено дублирование наиболее критичных узлов управления и контроля за технологическими процессами, то крупное оборудование является уникальным в связи с длительностью изготовления, логистической сложностью доставки на месторождение и монтажа в стесненных условиях функционирующей технологической площадки. В связи с этим рассматриваемая проблема рационального вывода из работы факельных сепараторов площадки ЦПС, для проведения внутренних осмотров и гидравлических испытаний является актуальной не только на рассматриваемом месторождении, но и на аналогичных крупных нефтегазовых проектах. Цель работы - определить возможность безопасной эксплуатации факельных

сепараторов площадки ЦПС Ванкорского месторождения при увеличении интервала между внутренними осмотрами сосудов, а также провести оценку эффекта от планируемой модернизации сепарационного оборудования (оснащения системой комплексного диагностического мониторинга) в сравнении с традиционным методом визуально-инструментального контроля физических дефектов.



## **1 Географо-экономические сведения о месторождении**

В геологическом отношении Ванкорское месторождение расположено на границе западного окончания Сибирской платформы, скрытого под чехлом мезозойских отложений, и восточного окончания Западно-Сибирской платформы, в строении которой участвуют мезо-кайнозойские отложения с относительно постоянным литологическим составом в разрезе на всей площади структуры и однообразным, равнинным обликом поверхности.

По составу почвенного покрова район проектирования относится к Западно-Сибирской провинции субарктической зоны тундровых почв, где почвы развиваются преимущественно на легких по механическому составу почвообразующих породах морского и ледникового происхождения. В северной части рассматриваемой территории распространены болотные, перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые почвы, а в южной ее части – глеево-подзолистые. В долинах рек развиты пойменные дерновые почвы. На юге территории под редкостойными сосново-лиственными лесами на легких почвообразующих породах развиты подзолистые почвы.

На объекте проектирования все существующие инженерные сети запроектированы как единое комплексное хозяйство с учетом общего планировочного решения площадки и подхода инженерных сетей.

Существующие инженерные сети прокладываются преимущественно надземным способом. Предусматривается совместная прокладка технологических, теплотехнических, водопроводных, электрических сетей и кабели КиП и связи по стойкам и эстакадам. На площадке существующие инженерные коммуникации в основном запроектированы в надземной прокладке, на общих эстакадах.

Климатическая характеристика собрана по материалам многолетних наблюдений на метеостанциях Дудинка, Игарка, Надежда, расположенных вблизи изыскиваемых объектов, в аналогичных физико-географических условиях.

Основная черта климата – резкая континентальность, которая сказывается как на больших различиях между температурами зимы и лета, так и между дневными и ночными температурами. Зима суровая с сильными ветрами, продолжительностью восемь месяцев. Лето короткое прохладное.

Температура воздуха. Многолетняя среднегодовая температура по метеостанции Надежда минус 9.3°C, по метеостанции Дудинка минус 10.2°C, по метеостанции Игарка минус 8.7°C. В течение пяти зимних месяцев (ноябрь – март) средние месячные температуры держатся ниже минус 20°C. Средняя месячная температура самого холодного месяца января минус 25 – 28°C, самого теплого июля плюс 13 – 15°C.

Абсолютный минимум температуры воздуха по метеостанции Дудинка минус 57°C, по метеостанции Игарка минус 64°C. Абсолютный максимум плюс 33°C. Годовая амплитуда колебания температуры воздуха достигает 80 – 90°C. В переходные периоды (весной и осенью) происходят резкие изменения температуры: от мая к июню и от сентября к октябрю средняя месячная температура изменяется на 10 – 12°C.

Переход температуры воздуха через 0°C в сторону положительных происходит в начале июня, в сторону отрицательных – в начале третьей декады сентября. В отдельные годы возможны значительные отклонения (до 10 – 25 дней) даты перехода температуры через 0°C от средних дат.

Средняя дата последнего заморозка 19 июня и первого 28 августа, продолжительность безморозного периода 69 дней.

Осадки. Район проведения изысканий расположен с наветренной стороны по отношению к влажным западным ветрам. Вследствие этого количество осадков здесь относительно много. Годовое количество осадков по метеостанции Игарка 705 мм, по метеостанции Надежда 781 мм.

Распределение снежного покрова крайне неравномерно и зависит от характера рельефа и растительности.

Устойчивый снежный покров образуется в начале октября и разрушается в конце мая. Продолжительность его залегания 240 дней. Снег залегает по

территории неравномерно. На возвышенных открытых местах высота его может достигать всего несколько сантиметров, тогда как в оврагообразных понижениях высота его может достигать нескольких метров.

Наибольшая декадная высота снежного покрова 5%-ной обеспеченности равна 90 см.

По метеостанции Надежда преобладающими ветрами являются ветра южного и юго-западного направлений. Ветры этих направлений наблюдаются в зимний и переходные периоды года. В теплую часть года преобладают северные и северо-западные ветра. Средняя годовая скорость ветра 7,3 м/сек.

Среднегодовая относительная влажность воздуха составляет 76%.

Район строительства относится к северной строительно-климатической зоне, по климатическому подрайону – ІБ, в соответствии со СНиП 23-01-99\*.

Расчетная зимняя температура наружного воздуха по МС Игарка, обеспеченностью 0,92:

-средняя температура наиболее холодной пятидневки - минус 49°С;

-средняя температура наиболее холодных суток - минус 53°С.

Расчетная зимняя температура наружного воздуха по МС Игарка, обеспеченностью 0,98:

-температура наиболее холодной пятидневки - минус 50°С;

температура наиболее холодных суток - минус 54°С.

Нагрузки для данного района строительства по СНиП 2.01.07-85\*:

-расчетное значение веса снегового покрова для VI района - 4,0 кПа;

-нормативное значение ветрового давления для III района - 0,38кПа.

Зона влажности 2 согласно СНиП 23-02-2003 - нормальная.

Согласно СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах» сейсмичность района строительства - менее 6 баллов.

ЗАО «Ванкорнефть», дочернее предприятие ОАО «НК «Роснефть», образовано в 2004г. для освоения Ванкорского нефтегазоконденсатного

месторождения - крупнейшего из месторождений, открытых и введенных в эксплуатацию в России за последние двадцать пять лет. С 01 апреля 2016 года произведена смена организационной формы предприятия и перевод персонала в ООО "РН-Ванкор". Ванкорское месторождение расположено на севере Восточной Сибири в Туруханском районе Красноярского края в 142 км от г. Игарка. Его площадь составляет 416,5 кв. км. Начальные извлекаемые запасы Ванкорского месторождения по состоянию на 1 января 2014 г. составляют 500 млн. тонн нефти и конденсата, 182 млрд. кубометров газа (природный + растворенный).

## **2 Специальная часть**

### **2.1 Проблема вывода из работы факельных сепараторов площадки ЦПС для проведения внутренних осмотров и гидравлических испытаний**

Рассматриваемый вопрос - вывод из работы факельных сепараторов площадки ЦПС, для проведения внутренних осмотров и гидравлических испытаний.

Для обеспечения возможности вывода из работы факельных сепараторов площадки ЦПС (для проведения внутренних осмотров и гидравлических испытаний) рассматривался вариант устройства байпасных линий факельных сепараторов V-5710, V-5810, V-5730, но данный вариант оказался неприменимым в связи с тем, что, согласно п.5.1 правила ПБ 03-591-03, предписывается иметь резервную факельную систему, в противном случае, вывод на ремонт осуществляется в период остановки ЦПС, в соответствии с ВНТП 3-85 п.2.99 "Сооружения технологического комплекса ЦПС и УПН должны проектироваться их расчета непрерывного круглосуточного режима работы оборудования в течение 350 суток (8400 часов).

В качестве резервных факельных сепараторов предлагалось рассмотрение:

1) Вариант установки двух параллельно работающих резервных сепараторов объемом  $V=140\text{м}^3$ .

Плюсы: сокращенный срок изготовления сепаратора, т.к. данный объем является стандартным.

Минусы: для того, чтобы обеспечить соблюдение требуемой величины аварийного сброса газа в факельный коллектор от пробкоуловителей, не превышающего пропускную способность резервного сепаратора, на период работы по резервной линии факельных сепараторов необходимо будет снизить объем поступления продукции скважин на подготовку ЦПС на коэффициент снижения производительности, равный 0,39.

Для обеспечения подключения резервных факельных сепараторов требуется длительная остановка ЦПС по выполнению мероприятий по врезке отсекающей арматуры и подводящих трубопроводов на резервные факельные сепараторы.

2) Вариант установки двух параллельно работающих факельных сепараторов диаметром 4.6м, объемом V-300м<sup>3</sup>.

Плюсы: при этом ограничение поступающей продукции на ЦПС не потребуется.

Минусы: более высокая стоимость, длительный срок изготовления, проблематичность транспортировки. Для обеспечения подключения резервных факельных сепараторов требуется длительная остановка ЦПС по выполнению мероприятий по врезке отсекающей арматуры и подводящих трубопроводов на резервные факельные сепараторы.

Вариант №3 - увеличение интервала внутренних осмотров (1 раз в 2 года) до срока гидравлического испытания (1раз в 8 лет).

## **2.2 Описание объекта исследования**

### **2.2.1 Центральный пункт сбора**

Пункт подготовки и сбора нефти (ЦПС), эксплуатируемый ООО "РН-Ванкор" предназначен для:

- приема продукции от УПСВ-С с УПН, УПСВ-Ю с УПН и продукции скважин от центральных кустов;
- учета поступающей продукции;
- подготовки нефти;
- подготовки пластовых вод;
- приема и учета товарной продукции;
- приема и подготовки газа к транспорту;
- подачи товарной нефти на сооружения магистрального транспорта.

Кроме этого на площадку ЦПС поступают:

- подготовленная нефть от УПН на севере и юге на коммерческий узел учета для дальнейшего транспорта через сооружения ГНПС в магистральный нефтепровод;
- газопроводы от УПСВ-С с УПН и УПСВ-Ю с УПН на компрессорные цеха №1, №2 (в перспективе компрессорный цех №3) и КУПГиК (в перспективе установка подготовки газа 2-я очередь).

Комплексы сооружений УПСВ-Ю с УПН и УПСВ-С с УПН в начальные периоды разработки месторождения работают как УПН, далее как УПСВ.

В состав технологических сооружений ЦПС входят следующие системы:

- технологическая линия подготовки нефти №1;
- технологическая линия подготовки нефти №2;
- технологические резервуары Т-2220, Т-2230;
- узел коммерческого учета нефти;
- ГНПС;
- газокompрессорная станция низкого давления, линия №1;
- газокompрессорная станция низкого давления, линия №2;

- система закачки газа высокого давления в пласт;
- факельная система высокого и низкого давлений (системы 57 и 58);
- закрытая дренажная система;
- аварийная дренажная система;
- система подачи химреагентов;
- система производства воздуха КиП и технического воздуха;
- система инертного газа и «газовой подушки»;
- установка осушки попутного газа, КУПГиК, технологическое здание №1;
- установка осушки подпиточного (природного) газа, КУПГиК, технологическое здание №1;
- установка подготовки топливного газа, КУПГиК, технологическое здание №1;
- пропановая холодильная установка, технологическое здание №2;
- газокompрессорная станция высокого давления, цех №1.

### **2.2.2 Факельные сепараторы на площадке ЦПС**

Факельные сепараторы V-5710, V-5730 и V-5810, указаны в перечне технологических сооружений (факельные системы 57 и 58). Факельные системы подразделяются на факельные системы низкого (система 58) и высокого давлений (система 57);

На ЦПС ООО «РН-Ванкор» предусматриваются отдельные факельные системы:

- факельная система низкого давления (58);
- факельная система высокого давления (57).

ФС V-5710, V-5730 и V-5810, входящие в состав факельных систем низкого и высокого давления, предназначены для очистки от капельной жидкости газа, сбрасываемого на факел.

Аппараты расположены на площадке ФС ЦПС Ванкорского месторождения:

- каплеотбойник факела высокого давления V-5710;
- нефтегазовый сепаратор факела высокого давления V-5730;



- каплеотбойник факела низкого давления V-5810;

Факельные системы предназначены для сброса и последующего сжигания горючих газов и паров в случаях:

- срабатывания предохранительных клапанов и освобождения технологических блоков от газов и паров в аварийных ситуациях с применением дистанционно управляемой запорной арматуры (аварийные сбросы);
- освобождения отдельных аппаратов или установок перед их пропаркой, продувкой или ремонтом (периодические сбросы).

Основным утилизируемым продуктом от аварийных и периодических сбросов является попутный нефтяной газ с возможным наличием капельной жидкости (нефть, вода).

Целью работы является рассмотрение применения системы комплексного диагностического мониторинга (СКДМ), с целью увеличения срока технического освидетельствования (наружного и внутреннего осмотров) факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 площадки ЦПС до 1 раза в 8 лет.

Основные технические характеристики сосудов:

1) Каплеотбойник факела высокого давления V-5710:

- Производительность по газу - 310 000 кг/ч;
- Производительность по нефти - 870 000 кг/ч;
- Рабочее давление - 0,5 МПа;
- Рабочая минимальная температура среды - положительная;
- Рабочая максимальная температура среды - плюс 20°C;
- Рабочая среда - нефть, пластовая вода, попутный газ;
- Внутренний объем аппарата - 593м<sup>3</sup>.

2) Нефтегазовый сепаратор факела высокого давления V-5730:

- Производительность по газу - 12 880 000 м<sup>3</sup>/сут;
- Рабочее давление - 0,5 МПа;
- Рабочая минимальная температура среды - плюс 20°C;
- Рабочая максимальная температура среды - плюс 150°C;

-Рабочая среда - нефть, пластовая вода, попутный газ;

-Внутренний объем аппарата -  $708\text{м}^3$ .

3) Каплеотбойник факел низкого давления V-5810:

-Производительность по газу -  $310\,000\text{ кг/ч}$ ;

-Производительность по нефти -  $741\,000\text{ кг/ч}$ ;

-Рабочее давление -  $0,15\text{ МПа}$ ;

-Рабочая минимальная температура среды - плюс  $20^{\circ}\text{C}$ ;

-Рабочая максимальная температура среды - плюс  $80^{\circ}\text{C}$ ;

-Рабочая среда - нефть, пластовая вода, попутный газ;

-Внутренний объем аппарата -  $320\text{м}^3$ .

Работа факельных сепараторов V-5710, V-5730 и V-5810 организуется по следующему принципу:

1. Сбросы поступают в сепараторы по подводящим трубопроводам с площадки ЦПС.

2. В сепараторах происходит отделение жидких углеводородов, содержащихся в сбрасываемом газе.

3. Удаление жидкой фазы из сепараторов осуществляется насосами возврата жидкости.

4. После сепараторов сбросные газы по трубопроводам поступают во входной штуцер факельного ствола низкого/высокого давления.

5. Газы поднимаются к оголовнику, где воспламеняются от дежурных горелок и сгорают.

Существующие меры, принятые для обеспечения безопасной работы сепараторов V-5710, V-5730, V-5810:

1. Во избежание образования взрывоопасной смеси предусматривается непрерывная подача топливного газа в начало всех факельных коллекторов. В случае прекращения подачи топливного газа предусматривается автоматическая подача инертного газа.

2. Сепараторы оборудованы наружным электрообогревателем, чтобы обеспечить поддержание температуры содержимого аппарата выше  $20^{\circ}\text{C}$  —

минимального значения температуры, необходимой для перекачки продукта, а также для предотвращения отложения парафина на стенках аппарата.

3. Сепараторы оборудованы приборами контроля технологических параметров:

- измерение давления в сепараторе;
- измерение и регулирование температуры;
- измерение уровня в сепараторе, контроль и регулирование предельных значений.

В дополнение к вышеперечисленным существующим мерам будет предусмотрено применение СКДМ.

### **2.3 Методы неразрушающего контроля**

Основными методами неразрушающего контроля [5] являются:

магнитный — основанный на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом;

электрический — основанный на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом или возникающего в контролируемом объекте в результате внешнего воздействия;

вихретоковый — основанный на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте;

радиоволновой — основанный на регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с контролируемым объектом;

тепловой — основанный на регистрации изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов, вызванных дефектами;

оптический — основанный на регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом;

радиационный — основанный на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом.

Слово «радиационный» может заменяться словом, обозначающим конкретный вид ионизирующего излучения, например, рентгеновский, нейтронный и т. д.;

акустический — основанный на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых или возникающих в контролируемом объекте. При использовании упругих волн ультразвукового диапазона (выше 20 кГц) допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический»;

проникающими веществами — основанный на проникновении веществ в полости дефектов контролируемого объекта. Термин «проникающими веществами» может изменяться на «капиллярный», а при выявлении сквозных дефектов — на «течеискание».

### **2.3.1 Акустико-эмиссионный контроль**

Акустическая эмиссия (АЭ) – явление распространения упругих колебаний (акустических волн), генерируемых внезапной деформацией напряженного материала [6].

Акустико-эмиссионный отклик зависит от структуры материала и режима деформирования. Разные материалы при различных способах нагружения в сильной степени отличаются друг от друга по своему акустико эмиссионному поведению. Существует 2 основных фактора, приводящих к высокой эмиссивности – это хрупкость и гетерогенность материала. Вязкие механизмы разрушения, например, слияние пор в мягких сталях, напротив, приводят к низкой эмиссивности (по энергии и числу сигналов).

Простейший тип волны от акустико-эмиссионного источника представлен на рисунке 1. По существу это импульс напряжения, соответствующий смещению поверхности материала.

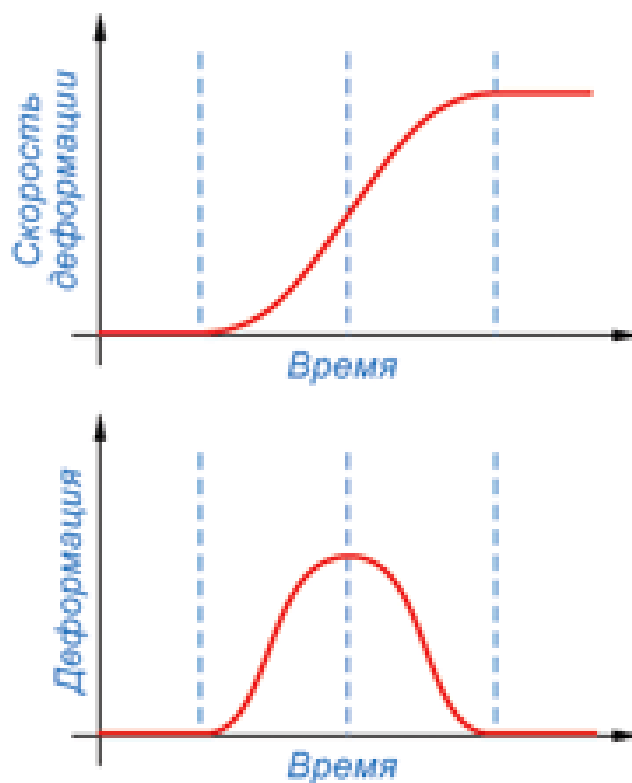


Рис.1 - Простейший тип волны от акустико-эмиссионного источника

Волновое смещение представляет собой функцию близкую к ступенчатой. Напряжение, соответствующее смещению, имеет форму импульса, ширина и высота которого зависят от динамики процесса излучения. Импульсы таких источников как проскок микротрещины или разрушение осажденных фракций имеют малую длительность (порядка микросекунд или долей микросекунд). Амплитуда и энергия первоначального импульса акустической эмиссии может меняться в широком диапазоне в зависимости от типа источника акустической эмиссии. Зародившаяся волна (импульс) распространяется от источника во всех направлениях, при этом распространение в соответствии с природой источника может носить ярко выраженный анизотропный характер (т.е. зависимость скорости распространения от направления).

Форма первоначальной волны претерпевает существенные изменения при распространении в среде материала и при преобразовании датчиком, поэтому

сигнал, пришедший с датчика, весьма отдаленно напоминает исходный сигнал от источника. На рисунке 2 приведён типичный сигнал эмиссии.

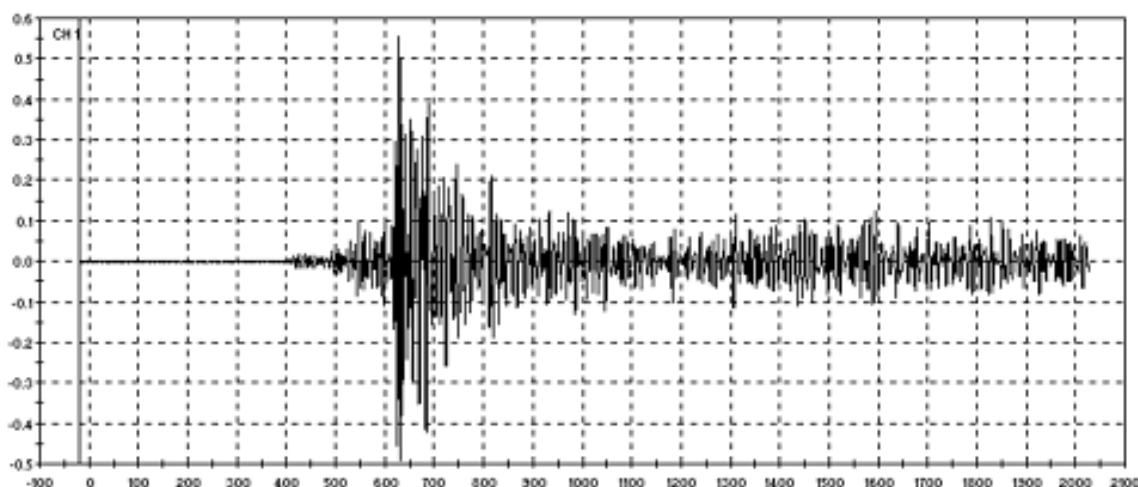


Рисунок 2 - Типичный импульсный сигнал АЭ

Такое изменение формы акустико-эмисионного сигнала является важной проблемой, с которой приходится сталкиваться как при исследованиях функции источника, так и при решении практических задач неразрушающего контроля. Те исследователи, которые стремятся определить первоначальную форму сигнала, используют широкополосные датчики и производят подробный анализ начальной части зарегистрированного сигнала. Это важный, но вместе с тем очень непростой способ исследования, т.к. обработка одного сигнала может занимать длительное время. В связи с этим многие исследователи в области испытания материалов и неразрушающего контроля в большей степени заинтересованы в получении статистических оценок параметров акустической эмиссии, чем в подробном изучении характеристик отдельных источников эмиссии. Они используют узкополосную аппаратуру, позволяющую измерять лишь некоторые параметры формы сигналов, но одновременно с этим – регистрировать большие потоки сигналов (сотни сигналов в секунду).

Целью контроля акустической эмиссией является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за источниками акустической эмиссии, связанными с несплошностями на поверхности или в объеме стенки сосуда, сварного соединения и изготовленных частей и компонентов.

Акустико-эмиссионный контроль технического состояния обследуемых объектов проводится только при создании в конструкции напряженного состояния, инициирующего в материале объекта работу источников акустической эмиссии. Для этого объект подвергается нагружению силой, давлением, температурным полем и т.д. Выбор вида нагрузки определяется конструкцией объекта и условиями его работы, характером испытаний.

#### Метод контроля акустической эмиссией

Неразрушающий контроль (НК) – контроль свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к использованию и эксплуатации.

Традиционные методы неразрушающего контроля (такие, как ультразвуковой, радиационный, токовихревой) обнаруживают геометрические неоднородности путем излучения в исследуемую структуру некоторой формы энергии. Акустическая эмиссия использует другой подход: во-первых, источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник, т.е. метод является пассивным (а не активным, как большинство других методов контроля). Во-вторых, в отличие от других методов, акустико-эмиссионный обнаруживает движение дефекта, а не статические неоднородности, связанные с наличием дефектов, т.е. метод акустической эмиссии обнаруживает развивающиеся, а потому наиболее опасные дефекты.

Рост трещины, разлом включения, расслоения, коррозия, трение, водородное охрупчивание, утечка жидкости или газа и т.п. – это примеры процессов, производящих акустическую эмиссию, которая может быть обнаружена и эффективно исследована с помощью этой технологии.

На рисунке 3 приведена иллюстрация, поясняющая метод акустико-эмиссионного контроля.

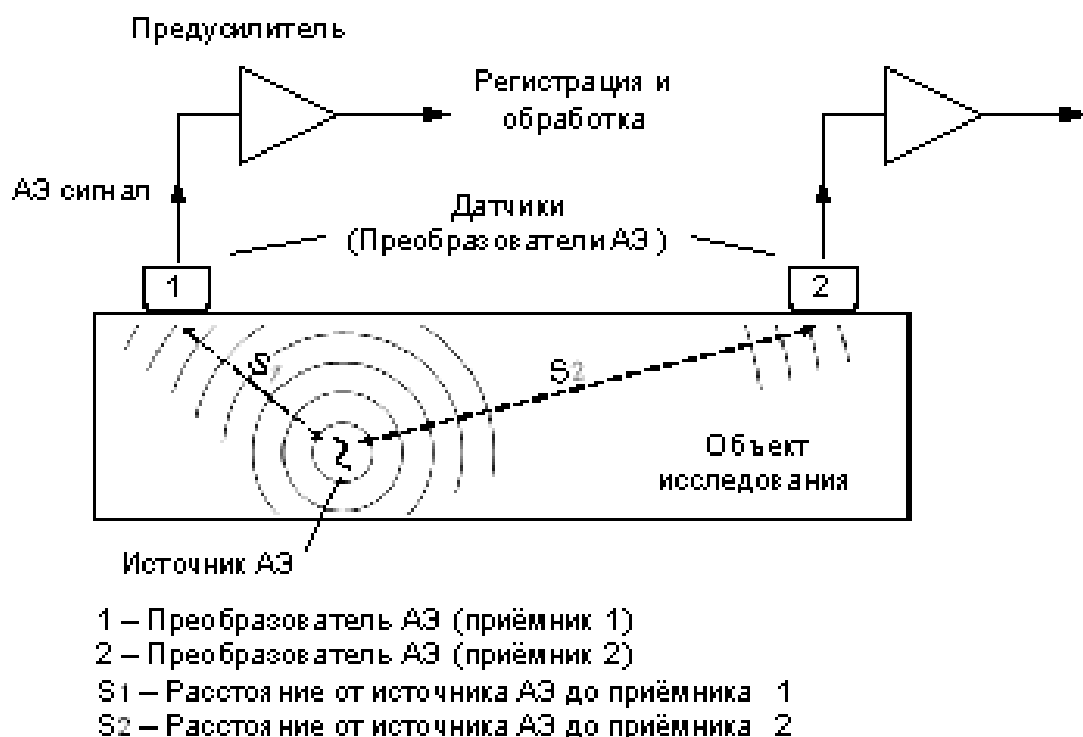


Рисунок 3 - Метод АЭ контроля

При обнаружении сигнала на 1-м и 2-м приёмниках, регистрируется время прихода сигнала  $t_1$  и  $t_2$  соответственно. По зарегистрированным  $t_1$  и  $t_2$  определяется разность времени прихода сигнала  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Затем по известной скорости звука в материале и известным координатам приёмников вычисляются координаты источника акустической эмиссии (дефекта). Схемы расположения преобразователей и их количество могут быть различными. Чем больше датчиков, тем более точно можно определить местонахождение дефекта.

Метод контроля акустической эмиссией обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам – позволяет выявить в рабочих условиях приращение трещины порядка долей миллиметра. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет порядка  $1 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>, что соответствует выявлению увеличения длины трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм.



### **2.3.2 Характерные особенности метода акустической эмиссии**

Основными преимуществами метода акустической эмиссии перед традиционными методами неразрушающего контроля являются следующие:

-Интегральность метода, которая заключается в том, что, используя один или несколько датчиков, установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект целиком (100% контроль). Это свойство метода особенно полезно при исследовании труднодоступных (не доступных) поверхностей контролируемого объекта.

-В отличие от сканирующих методов неразрушающего контроля, метод АЭ не требует тщательной подготовки поверхности объекта контроля. Следовательно, выполнение контроля и его результаты не зависят от состояния поверхности и качества ее обработки. Изоляционное покрытие (если оно имеется) снимается только в местах установки датчиков.

-Обнаружение и регистрация только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам (или по другим косвенным признакам – форме, положению, ориентации дефектов), а по степени их опасности (влияние на прочность) для контролируемого объекта.

-Высокая производительность, во много раз превосходящая производительность традиционных методов неразрушающего контроля, таких как ультразвуковой, радиографический, вихретоковый, магнитный и др.

-Дистанционность метода – возможность проведения контроля при значительном удалении оператора от исследуемого объекта. Данная особенность метода позволяет эффективно использовать его для контроля (мониторинга) ответственных крупногабаритных конструкций, протяженных или особо опасных объектов без вывода их из эксплуатации и вреда для персонала.

-Возможность отслеживания различных технологических процессов и оценка технического состояния объекта в режиме реального времени, что позволяет предотвратить аварийное разрушение контролируемого объекта.

-Максимальное соотношение эффективность-стоимость.

Особенностью метода АЭ, ограничивающей его применение, является в ряде случаев трудность выделения сигналов акустической эмиссии из помех. Это связано с тем, что сигналы акустической эмиссии являются шумоподобными, поскольку акустическая эмиссия является случайным импульсным процессом. Поэтому, когда сигналы акустической эмиссии малы по амплитуде, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу. При развитии дефекта, когда его размеры приближаются к критическому значению, амплитуда сигналов акустической эмиссии и темп их генерации резко увеличивается, что приводит к значительному возрастанию вероятности обнаружения такого источника акустической эмиссии.

Метод акустической эмиссии позволяет получать огромные массивы информации, оперативно и с минимальными затратами регулировать и продлевать эксплуатационный цикл ответственных промышленных объектов, помогает в прогнозировании вероятности возникновения аварийных разрушений и катастроф.

Акустическая эмиссия отличается от большинства методов неразрушающего контроля (МНК) в двух ключевых аспектах. Во-первых, источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник, т.е. метод является пассивным (а не активным, как большинство других методов контроля). Во-вторых, в отличие от других методов АЭ обнаруживает движение дефекта, а не статические неоднородности, связанные с наличием дефектов, т.е. АЭ обнаруживает развивающиеся, а потому наиболее опасные дефекты. Перечень основных отличий приведен в таблице 1.

Как известно среди МНК не существует ни одного такого метода, который мог бы решить проблему оценки целостности объекта оптимально с учетом таких основных факторов, как получение наиболее низкой себестоимости работ и достижения технической адекватности результатов контроля. Лучшим решением проблемы является применение комбинации различных методов НК. Благодаря тому, что АЭ резко отличается по своим

возможностям от традиционных методов контроля, на практике оказывается очень полезным совмещать АЭ с другими методами.

Таблица 1 - Сравнение характеристик АЭ метода контроля с другими методами НК

Акустическая Эмиссия	Другие МНК
Обнаруживает движение дефектов	Обнаруживают геометрическую форму дефектов
Требуется нагружения	Не требуют нагружения
Каждое нагружение уникально	Контроль воспроизводим
Чувствителен к структуре материала	Менее чувствительны к материалу
Менее чувствительны к геометрии	Более чувствительны к геометрии
Требуется меньших усилий при проведении контроля продукции/процессов	Требуют больших усилий при проведении контроля продукции/процессов
Требуется доступ только в местах установки датчиков	Требуют доступ ко всей поверхности объекта
Контролирует конструкцию за один цикл нагружения	Постепенное сканирование участков конструкции
Основные проблемы: сильное влияние шума	Основные проблемы: сильное влияние геометрии

Основное преимущество метода АЭ связано с возможностью проведения неразрушающего контроля всего объекта целиком за один цикл нагружения.

Данный метод является дистанционным, он не требует сканирования поверхности объекта для поиска локальных дефектов. Необходимо просто

правильным образом расположить нужное число датчиков и использовать их для осуществления локации источника волн напряжений. Возможности, связанные с дистанционным использованием метода, дают большие преимущества по сравнению с другими методами контроля, которые требуют, например, удаления изоляционных оболочек, освобождения контейнеров контроля от внутреннего содержания или сканирования больших поверхностей.

Типичный пример использования АЭ заключается в определении местоположения дефектных участков, после чего для более точного определения природы дефектов используются другие МНК.

## **2.4 Диагностический мониторинг**

Диагностический мониторинг становится одной из актуальных проблем по обеспечению безопасной эксплуатации производственных объектов подконтрольных Госгортехнадзору России.

В качестве поставщика СКДМ выбрано ООО «ИНТЕРЮНИС», так как в настоящее время специалистами ООО «ИНТЕРЮНИС» разработаны основные принципы построения комплексных систем диагностического мониторинга, учитывающие конструктивные особенности объектов, условия эксплуатации, виды возможных повреждений и неисправностей и характеристики методов контроля, пригодных для их своевременного обнаружения.

Объекты комплексного диагностического мониторинга должны обладать следующими признаками:

- Разрушение конструкции может приводить к значительным материальным и экологическим потерям, человеческим жертвам;
- Доступ для проведения периодического контроля конструкции отсутствует или затруднен.
- Периодическое диагностирование невозможно или связано с большой трудоемкостью подготовительных работ и контроля;
- Конструкция обладает низкой эксплуатационной живучестью.

Специфика эксплуатации объектов, снабженных средствами диагностического мониторинга, заключается в том, что принятие решения о дальнейшей эксплуатации объекта принимается в реальном масштабе времени на основе непрерывно поступающей диагностической информации либо оператором, либо система автоматически вырабатывает нужные решения. В том и другом случае это осуществляется на базе заранее разработанных критериев опасности обнаруживаемых дефектов, изложенных в виде инструкций для оператора или алгоритма принятия решений, заложенного в разработанную систему диагностического мониторинга.

Разработка таких критериев является ключевым моментом в процессе создания систем комплексного диагностического мониторинга.

Комплексный диагностический мониторинг опасных производственных объектов, подконтрольных Госгортехнадзору России, представляет собой совокупность организационно-технических мероприятий, позволяющих осуществлять непрерывный контроль за фактическим техническим состоянием объектов на основе различных методов неразрушающего контроля, средств измерения напряженно-деформированного состояния и изменения пространственного положения объекта в процессе эксплуатации и является первым шагом к эксплуатации объекта по техническому состоянию.

Техническая реализация указанных принципов может осуществляться на базе систем комплексного диагностического мониторинга (СКДМ), которые обеспечивают высокую достоверность и полноту контроля потенциально опасных производственных объектов.

Последствия от разрушения являются главным фактором, определяющим форму и содержание системы контроля технического состояния конструкции. Системы комплексного диагностического мониторинга в значительной степени защищают конструкцию от преждевременных разрушений и обеспечивают своевременное обнаружение дефектов и неисправностей.

Отсутствие доступа для осмотров конструкции или значительные затруднения с доступом приводят к большим материальным затратам на

проведение подготовительных работ выполняемых на объекте для проведения периодических осмотров, создавая ситуацию, при которой такие осмотры становятся экономически нецелесообразными. Системы комплексного диагностического мониторинга конструкций в этом случае являются безальтернативным вариантом, а затраты времени определяются только временем на установку системы диагностического мониторинга на конструкции.

Трудоемкость периодического контроля за время эксплуатации конструкции может быть столь велика, что затраты на проведение периодического контроля становятся соизмеримыми с затратами на капитальный ремонт или замену конструкции, а большие объемы периодических осмотров зачастую приводят к снижению достоверности контроля и возникновению ошибок.

Скорости развития дефектов (эксплуатационная живучесть конструкции) могут быть такими, что время между моментом возникновения минимально обнаруживаемых размеров дефектов и моментом достижения дефектом критических размеров, при которых происходит разрушение конструкции, меньше или соизмеримо с интервалом времени между соседними осмотрами. Это обстоятельство приводит к не обнаружению дефекта и его пропуску со всеми вытекающими из этого последствиями.

Повышение частоты осмотров ограничено допустимыми затратами времени на осмотры и временем простоя конструкции.

При проведении работ по проектированию и внедрению комплексного диагностического мониторинга опасных производственных объектов и железобетонных конструкций всегда следует учитывать специфику объекта. Поэтому необходимо вначале ознакомиться с предстоящим объектом контроля, проектной документацией, конструктивными особенностями объекта, результатами ранее проведенных обследований. В ход ознакомления формулируются цели и задачи предстоящих работ. Затем проводится полное обследование объекта.

В процессе обследования определяются типы возможных дефектов и повреждений в конструкциях, их расположение, устанавливаются причины образования дефектов, их влияние на текущую способность и долговечность конструкции. После чего определяются типы датчиков (методы НК) и места их установки, необходимые для реализации Системы комплексного диагностического мониторинга.

Для реализации потенциальных возможностей диагностического мониторинга необходимо иметь четкое представление о спектре эксплуатационных нагрузок, дополнительных факторах, ускоряющих процесс образования и развития дефектов, видах дефектов и методах контроля пригодных для обнаружения дефектов.

В СКДМ процесс сбора данных, идентификация дефектов осуществляется автоматически в тесной связи с текущими эксплуатационными нагрузками. Этот факт имеет определяющее значение при обнаружении трещин или трещиноподобных дефектов, а так же для последующей автоматической идентификации типа дефекта.

Местоположение дефекта может быть известно заранее (из опыта или из расчетов) или дефект может располагаться в любом месте конструкции (например, коррозия или трещина от производственного дефекта). В первом случае для обнаружения дефектов может быть использован один из методов неразрушающего контроля в режиме локального (точечного) контроля, когда датчик располагается непосредственно в месте возникновения предполагаемого дефекта, например датчик для ультразвукового контроля толщины стенки. Во втором случае требуется применение методов контроля интегрального типа, когда контролю подвергается весь объем конструкции и датчики могут располагаться на достаточно удаленном от дефекта месте. К таким методам относится метод акустической эмиссии [7].

Размеры дефекта, к которым относятся: начальнообнаруживаемый размер и критический размер, служат для выбора чувствительности аппаратуры и определения порогового значения обнаруживаемых дефектов.

Скорость развития дефекта служит для определения такого важного параметра как периодичность осмотров. Выше упоминалось, что могут иметь место ситуации, когда высокая скорость роста дефекта исключает применение периодического контроля.

В системе диагностического мониторинга скорость роста дефекта не является критическим параметром, ибо периодичность опроса датчиков в системе СКДМ может быть выбрана любой, исходя из максимальной скорости развития дефекта.

Создание системы диагностического мониторинга не ограничивается анализом конструктивных особенностей и условий эксплуатации, спектра нагрузок и дефектов ими порождаемых, методов и средств для их обнаружения в условиях эксплуатации. Разработка критериев для принятия решений о дальнейшей эксплуатации, в зависимости от численных значений измеряемых параметров, является ключевым моментом в процессе создания СКДМ [8].

Принципиально могут существовать два способа формирования решений о порядке дальнейшей эксплуатации объекта после получения информации о наличии дефекта или неисправности объекта.

Первый способ характеризуется тем, что потоки информации от первичных преобразователей, поступают в процессе эксплуатации объекта к оператору в виде разнообразных сообщений на табло или мониторе РС. Оператор по этим данным может принять решение о продолжении или приостановке эксплуатации, изменении режима работы объекта, или иное решение, обеспечивающее безопасность эксплуатации и сохранность объекта. Очевидно, что данные решения страдают определенной степенью субъективизма и могут быть приняты только высококвалифицированным специалистом.

Второй способ принятия решений исключает всякое вмешательство оператора в процесс принятия решений, ибо это осуществляется автоматически системой СКДМ на основе критериев, разработанных в процессе создания СКДМ. Конечный результат о порядке дальнейшей эксплуатации формируется



в виде конкретных указаний оператору о воздействиях на управляющие органы объекта, чтобы парировать неблагоприятное влияние обнаруженных дефектов или неисправностей на объект, или эти воздействия автоматически вырабатываются исполнительными механизмами без участия оператора.

Система комплексного диагностического мониторинга - проектируемая система мониторинга факельных сепараторов V-5710, V-5730 и V-5810 предназначена для контроля и мониторинга целостности оболочек (корпусов) аппаратов.

Основная опасность эксплуатируемых ФС связана с возникновением аварий, т.е. случайных событий, состоящих во внезапной разгерметизации сепараторов, сопровождающейся интенсивным истечением газа и высвобождением заключенной в нем энергии в окружающее пространство, способные вызвать, как поражение людей, так и нанести определенный материальный ущерб.

Модернизация ФС площадки ЦПС с применением СКДМ предусматривает изменения на ОПО, которые не влияют на условия безопасной эксплуатации и не увеличивают значения показателей риска аварии.

Цель данных дополнительных мер - обеспечение безопасной эксплуатации опасных производств, обеспечение мониторинга технического состояния этих производств, существенным образом влияющих на технико-экономические показатели производства и возникновение техногенных инцидентов.

СКДМ объединяет действующие системы слежения за отдельными технологическими параметрами ФС с системой мониторинга целостности оболочек ФС в режиме эксплуатации.

Система создается на базе системы комплексного диагностического мониторинга «Лель-М/А-Line 32D (DDM-M)» (разработка ООО «ИНТЕРЮНИС»), которая имеет отработанное программное обеспечение.

СКДМ состоит из четырех функциональных блоков [8]:

- блок измерений (БИ);
- блок преобразований и предварительной обработки (БПиПО);
- блок передачи данных (БПД);
- блок вычислений (БВ).

БИ реализует функции получения и первичного преобразования сигналов акустической эмиссии (АЭ). Блок измерений на аппаратном уровне представлен преобразователями АЭ.

БПиПО обеспечивает непрерывную оцифровку аналоговых сигналов с преобразователей АЭ в непосредственной близости. Данный блок состоит из многофункциональных модулей сбора, измерения и обработки АЭ сигналов и дополнительных параметров.

БПД обеспечивает обмен данными между БПиПО и БВ. На аппаратном уровне представляет собой специальное устройство приема и передачи данных (концентратор), разработки ООО «ИНТЕРЮНИС».

БВ предназначен для приема, передачи, хранения и обработки информации, для связи и управления измерительными каналами. БП представляет собой серверный компьютер в промышленном исполнении со специализированным программным обеспечением – центральная вычислительная станция (ЦВС).

Элементы СКДМ имеют аппаратную и программную диагностику исправности информационных сетей, блоков и модулей, а также входных и выходных электрических цепей.

## **2.5 Требования в области промышленной безопасности**

ФНП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» [33]:

- «п. 361. Объем работ, порядок и периодичность проведения технических освидетельствований в пределах срока службы оборудования под давлением

определяется руководством (инструкцией) по эксплуатации и требованиями настоящих ФНП».

В соответствии с руководством по эксплуатации факельного сепаратора V-5710 №57.964.00.000РЭ определена следующая периодичность проведения технических освидетельствований:

–наружный и внутренний осмотр лицом, ответственным за осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, предприятия-владельца – не реже 1 раза в 2 года;

– наружный и внутренний осмотры в доступных местах специалистом организации, имеющего лицензию Ростехнадзора на проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств (сосудов) не реже 1 раза в 4 года.

В соответствии с руководством по эксплуатации факельного сепаратора V - 5730 (ГП1377РЭ) определена следующая периодичность проведения технических освидетельствований с участием представителей Ростехнадзора:

- наружный и внутренние осмотры – 1 раз в 4 года;
- гидроиспытание – 1 раз 8 лет.

В соответствии с руководством по эксплуатации факельного сепаратора V-5810 № 22.971.00.000РЭ определена следующая периодичность проведения технических освидетельствований:

–наружный и внутренний осмотр лицом, ответственным за осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, предприятия-владельца – не реже 1 раза в 6 лет;

– наружный и внутренний осмотры в доступных местах специалистом организации, имеющего лицензию Ростехнадзора на проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств (сосудов) не реже 1 раза в 6 лет.

После проведения модернизации факельных сепараторов (внедрения системы комплексного диагностического мониторинга) планируется осуществлять внутренние осмотры факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 по результатам сведений мониторинга, осуществляемого системой комплексного диагностического мониторинга, но не реже 1 раз 8 лет.

Основанием необходимости отступлений от норм и правил являются сложность проведения периодического осмотра сепараторов предусматривающая остановку и вывод из технологического режима, как самих сепараторов, так и большого количества технологического оборудования, что приводит к большим экономическим потерям.

В соответствии с РД 03-418-01, п. 4.2.6 [21] в качестве критерия приемлемости риска выбрано условие выполнения дополнительных требований безопасности – непрерывный мониторинг в процессе эксплуатации ФС с применением СКДМ.

Основной целью комплексного диагностического мониторинга ФС является определение возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации на основе данных о текущем техническом состоянии при увеличенном периоде технических освидетельствований.

Комплексный мониторинг ФС осуществляется с использованием метода АЭ, средств контроля технологических параметров и метеорологических условий.

Основной задачей акустико-эмиссионного мониторинга, в рамках комплексного диагностического мониторинга, является выявление склонных к росту дефектов в основном металле и сварных соединениях ФС.

АЭ может регистрироваться не только при изменении давления, но и в случае роста дефекта под постоянным давлением. Этот аспект имеет место как в отечественной, так и в международной практике и раскрыт в следующих материалах:

При эксплуатации ФС с установленной СКДМ используется для выявления дефектов основного металла и сварных стыков всего ФС контроль

по методу магнитной памяти металла. Данная практика отражена в СТО ЛУКОЙЛ 1.5-2007 «Определение состояния сосудов, работающих под давлением, без вывода их из эксплуатации. Методические указания».

Системы мониторинга, базирующиеся на методе АЭ, успешно применяются на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производствах. Анализ опыта эксплуатации подобных опасных производственных объектов представлен в п.п.2.2.3.

## **2.6 Результаты оценки риска аварии и связанной с ней угрозы**

### **2.6.1 Описание методологии анализа опасностей и оценки риска аварии и связанной с ней угрозы.**

В качестве достаточности принятых компенсирующих мероприятий при отступлении от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности обеспечения безопасности, могут быть использованы результаты качественные и количественные, как показатели условий безопасной эксплуатации опасного объекта.

К количественным показателям условий безопасной эксплуатации опасного объекта относятся результаты анализа риска. Анализ риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетание.

С учетом принятых отступлений для ФС требуется максимальный учет специфики и технического состояния технологического оборудования, влияющие на эффективность анализа риска и на повышение точности его количественных показателей.

Согласно документу «Методические указания по проведению анализа рисков опасных производственных объектов» РД-03-418-01 [21] существует несколько методов, рекомендуемых для проведения АР:

- метод проверочного листа и «Что будет, если..?»;
- анализ видов и последствий отказов;
- метод анализа опасности и работоспособности;

При расчете количественных показателей условий безопасной эксплуатации, для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа:

- дерево отказов;
- дерево событий.

Методы «деревьев отказов и событий» используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий, с учетом специфик эксплуатируемого объекта).

Количественные показатели риска:

- индивидуальный риск - частота поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности;
- коллективный риск - ожидаемое количество смертельно травмированных в результате возможных аварий за определенный период времени;
- потенциальный территориальный риск - пространственное распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня;
- социальный риск - зависимость частоты событий ( $F$ ), в которых пострадало на том или ином уровне число людей, больше определенного ( $N$ ), от этого определенного числа людей.

Основными качественными критериями безопасной эксплуатации объекта является определение достаточности принятых мероприятий по снижению риска для ФС на основании проведения анализа опасности и работоспособности, путем проведения исследования влияния отклонений технологических параметров (температуры, давления и уровня) от регламентных режимов с точки зрения возникновения опасности.

Из всего вышеизложенного, а также опираясь на РД-03-418-01 [21], определяется метод выбора анализа риска (таблица 2). Метод подходящий для нашего случая определен как - анализ «деревьев отказов и событий».

Таблица 2 - Сравнение методов выбора анализа риска

Метод	Вид деятельности				
	Размещение (предпроектные работы)	Проектирование	Ввод или вывод из эксплуатации	Эксплуатация	Реконструкция
Анализ «Что будет, если...?»	0	+	++	++	+
Метод проверочного листа	0	+	+	++	+
Анализ опасности и работоспособно сти	0	++	+	+	++
Анализ видов и последствий отказов	0	++	+	+	++
<b>Анализ «деревьев отказов и событий»</b>	0	++	+	+	++
Количественны й анализ риска	++	++	0	+	++

### 2.6.2 Описание метода анализа условий безопасной эксплуатации

В связи с внедрением СКДМ и изменением периодичности технических освидетельствований ФС, что является отступлением от ФНП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» утв. Приказом Ростехнадзора от 25.03.2014 №116 [32], необходимо учитывать изменения интенсивности отказа для оборудования при эксплуатации факельных сепараторов.

Частотный анализ отказов при эксплуатации оборудования выполняется методом «деревьев отказов», в которых в качестве оценок интенсивности отказов используются статистические данные с учетом технического состояния объекта. Данный подход позволяет осуществить прогнозирование интенсивности отказов конкретного оборудования на стадии эксплуатации с учетом информации о техническом состоянии объекта.

При построении «деревьев отказов» учитывались четыре группы факторов — предпосылок к возможным авариям:

- отказы систем защиты;
- ошибки персонала;

- внешнее воздействие;
- техническое состояние оборудования.

При оценке частоты разгерметизации емкости

При оценке частоты разгерметизации емкости ФС методом «деревьев отказов», в качестве оценок интенсивностей «первичных» отказов использовались статистические и расчетные значения. С целью учета технического состояния факельных сепараторов при оценке частоты разгерметизации расчетные значения отказов по причине физического износа (эрозии/коррозии) приняты с учетом степени износа, соответствующей различным периодам эксплуатации.

Для объектов, подвергающегося общему эрозионно-коррозионному износу, интенсивность отказов по причине физического износа (эрозии/коррозии), необходимая для частотного анализа аварийных событий, может быть определена путем вероятностного прогнозирования:

$$\lambda_{\delta}(\tau) = \frac{f(\tau)}{P(\tau)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}}{0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u (e^{-\frac{u^2}{2}}) du} \quad (1)$$

где  $f(\tau)$  – плотность распределения вероятностей отказа;  $P(\tau)$  – вероятность безотказной работы.

В этом уравнении  $u$  рассчитывается по формуле:

$$u = \frac{[\delta] - \delta}{S_{\delta}} = \frac{[\delta] - \alpha \cdot \tau}{S_{\alpha} \cdot \tau} \quad (2)$$

где  $[\delta]$  – предельное значение параметра технического состояния (степени износа) оборудования,  $[\delta] = 1$ ;

$\delta$  – текущее значение степени износа, определяется как отношение фактического утонения стенки объекта к максимально возможному при достижении стенкой расчетной толщины;

$\alpha$  – относительная скорость износа,  $\text{год}^{-1}$ ;

– время эксплуатации объекта, лет;

$S_{\delta}$ ,  $S_{\alpha}$  – статистические оценки среднеквадратичных отклонений соответственно степени и скорости износа.



Вероятность безотказной работы оборудования (объектов) с величиной интенсивности отказов рассчитывается согласно формуле:

$$P(\tau) = e^{-\lambda_s(\tau)} \quad (3)$$

Вероятность отказа оборудования (объектов) можно рассчитать по формуле:

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau) = 1 - e^{-\lambda_s(\tau)} \quad (4)$$

Скорость коррозионного износа принята 0,1 мм/год согласно паспорту. Относительная скорость износа  $\alpha$  принята как отношение скорости коррозионного износа к максимально возможному утончению стенки.

Максимально возможное утонение стенки (при достижении стенкой обечайки или днища сепаратора расчетной толщины) принято на основании данных паспорта и результатов технического освидетельствования (выполненного лабораторией неразрушающего контроля БПЛ Ванкорское месторождение РН-Сервис ООО «Нефтепромремонт»):

- для сепаратора V-5730 – 5,26 мм;
- для сепаратора V-5710 – 7,25 мм;
- для сепаратора V-5810 – 11,45 мм.

Наименьшее значение возможного утончения стенки соответствует сепаратору V-5730, и дальнейшую оценку отказа в зависимости от периода эксплуатации рассмотрим для данного аппарата, как для наихудшего из анализируемой группы аппаратов.

Фактическое утонение стенки ФС спрогнозировано с учетом скорости износа в зависимости от времени эксплуатации, начиная с 1 года эксплуатации до 30 лет.

Статистическая оценка среднеквадратичных отклонений скорости износа оценивается на уровне  $9,374 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

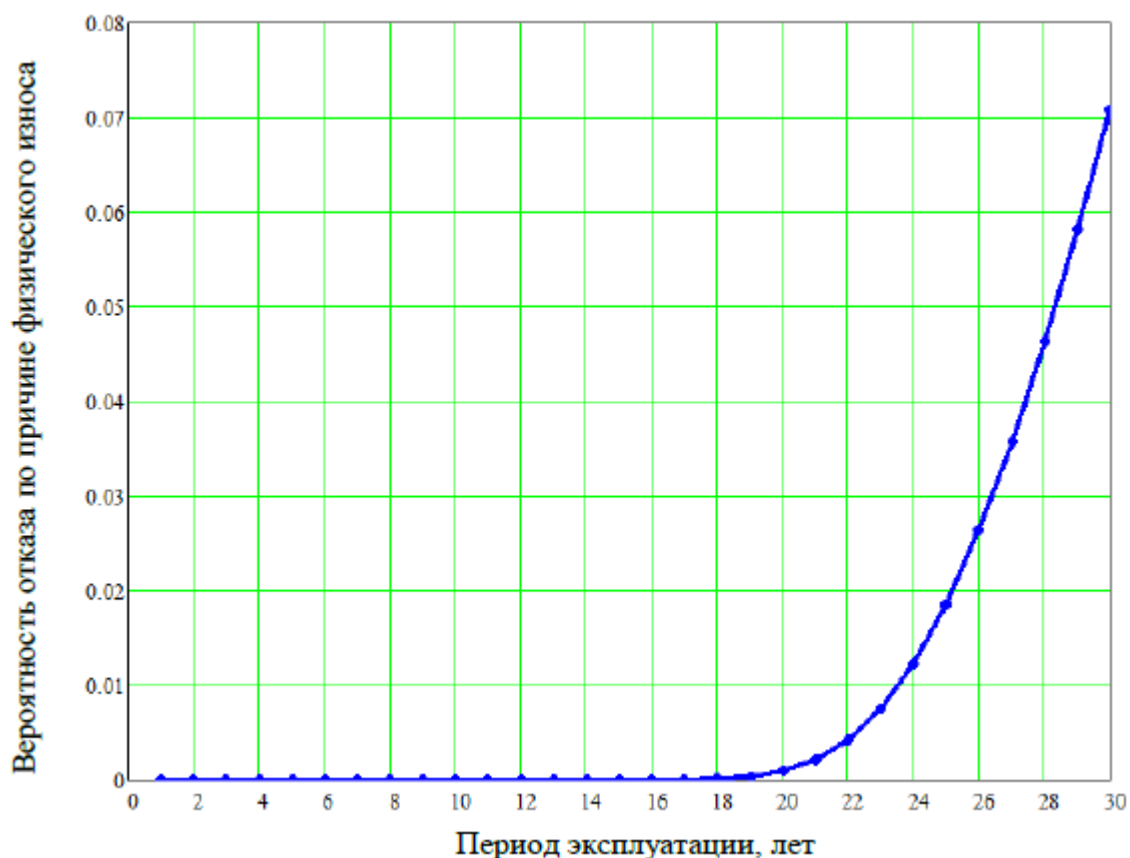


Рисунок 4 - Прогноз изменения вероятности отказа по причине физического износа (эрозии/коррозии) во времени за период эксплуатации до 30 лет

По графику, представленному на рисунке 4, видно, что наиболее значительное изменение вероятности отказа по причине физического износа (эрозии/коррозии) согласно прогнозной оценке наблюдается в период с 20 до 30 лет эксплуатации.

### 2.6.3 Вероятность разгерметизации емкости ФС без отступления от норм и правил

На рисунке 5 представлено «дерево отказов», полученное по результатам анализа причин разгерметизации емкости ФС.

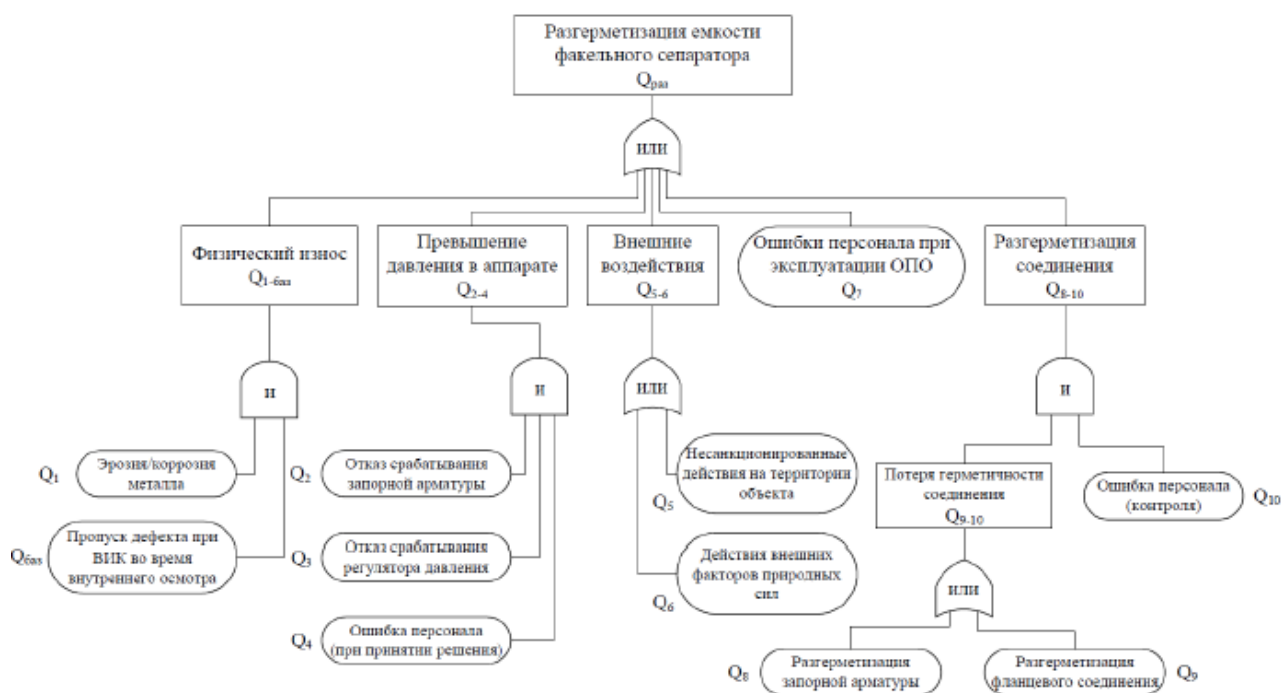


Рисунок 5 - «Дерево отказов», полученное по результатам анализа причин разгерметизации емкости ФС

При оценке частоты разгерметизации емкости ФС методом «деревьев отказов» в качестве оценок вероятностей «исходных» событий использовались значения, представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Вероятности «исходных» событий, приводящих к разгерметизации емкости ФС

№ п/п	Первичный отказ, приводящий к разгерметизации емкости ФС	Вероятность отказа	Обозначение
1	Отказ срабатывания запорной арматуры	$5,869 \cdot 10^{-3}$	$Q_2$
2	Отказ срабатывания регулятора давления	$7,766 \cdot 10^{-3}$	$Q_3$
3	Ошибка персонала (в принятии решения)	$8,500 \cdot 10^{-3}$	$Q_4$
4	Действия внешних факторов природных сил	$1,000 \cdot 10^{-4}$	$Q_5$
5	Несанкционированные действия на территории объекта	$1,000 \cdot 10^{-6}$	$Q_6$

Продолжение таблицы 3 - Вероятности «исходных» событий, приводящих к разгерметизации емкости ФС

№ п/п	Первичный отказ, приводящий к разгерметизации емкости ФС	Вероятность отказа	Обозначение
6	Ошибки персонала при эксплуатации (несоблюдение норм и правил, брак СМР, несоблюдение сроков планово-предупредительного ремонта и ЭПБ)	$1,000 \cdot 10^{-4}$	$Q_7$
7	Разгерметизация запорной арматуры	$9,000 \cdot 10^{-5}$	$Q_8$
8	Разгерметизация фланцевого соединения	$1,051 \cdot 10^{-3}$	$Q_9$
9	Ошибка персонала (контроля)	$8,500 \cdot 10^{-3}$	$Q_{10}$
10	Пропуск дефекта при ВИК во время внутреннего осмотра	$6,500 \cdot 10^{-1}$	$Q_{\text{баз}}$

Интенсивность отказа срабатывания для запорной арматуры (ручной переключающей) принята  $9,811 \cdot 10^{-4}$  отказов в год ( $0,112 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ) по нижнему пределу по ГОСТ 12.1.004-91. При расчете вероятности отказа принято 6 узлов запорной арматуры согласно конструктивным характеристикам объекта. Вероятность отказа срабатывания для запорной арматуры с учетом количества узлов составит  $5,887 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$  (по формуле 4).

Интенсивность отказа срабатывания регулятора давления принята  $7,796 \cdot 10^{-3}$  отказов в год ( $0,89 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ) по нижнему пределу по ГОСТ 12.1.004-91. Вероятность отказа (по формуле 4) срабатывания регулятора давления составит  $7,766 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

В процессе изготовления и эксплуатации объекта персоналом не должны совершаться действия, непредусмотренные или запрещенные документацией. Вероятность совершения ошибок человеком зависит от многих факторов: его физического и психологического состояния, квалификации, напряженности

труда, вида деятельности, эргономики производственной среды и т.д. Вероятность безошибочного выполнения пункта должностной инструкции в сложных и напряженных ситуациях (согласно «Анализ риска опасных производственных объектов. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Управление техносферной безопасностью») составляет  $0,9915 \dots 0,9955$ , следовательно вероятность ошибки персонала при выполнении должностных обязанностей составит  $4,5 \cdot 10^{-3} \dots 8,5 \cdot 10^{-3}$ .

Значение вероятности воздействия внешних факторов природных сил на технологическое оборудование промышленных объектов (согласно «Кризис предупреждения чрезвычайных ситуаций и пути его преодоления: учебно-практическое пособие») равно  $10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . С учетом сложности местности и суровых климатических условий эксплуатации оборудования принято максимальное значение равное  $10^{-4} \text{ год}^{-1}$ . Вероятность разгерметизации емкости ФС по причине воздействия внешних факторов природных сил составит  $10^{-4}$  (по формуле 4).

Значение вероятности несанкционированных действий на территории объекта (согласно «Кризис предупреждения чрезвычайных ситуаций и пути его преодоления: учебно-практическое пособие») равно менее чем  $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . С учетом предусмотренных на объекте охранных мероприятий и удаленности от жилых объектов принято значение  $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Вероятность разгерметизации емкости ФС по причине несанкционированных действий составит  $10^{-6}$  (по формуле 4).

Вероятность разгерметизации узла запорной арматуры принята  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  на основании рекомендуемых значений, приведенных в таблице 8.4 СТО Газпром 2-2.3-400-2009. При расчете вероятности отказа принято 6 узлов запорной арматуры согласно конструктивным характеристикам объекта. Вероятность разгерметизации узла запорной арматуры с учетом количества узлов составит  $9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Интенсивность отказа механического (фланцевого) соединения принята  $1,752 \cdot 10^{-4}$  отказов в год ( $0,02 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ) по нижнему пределу по ГОСТ 12.1.004-91.

При расчете вероятности отказа принято 6 фланцевых соединений согласно конструктивным характеристикам объекта. Вероятность разгерметизации механического (фланцевого) соединения с учетом их количества составит  $1,051 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$  (по формуле 4).

Значение вероятности человеческой ошибки при эксплуатации опасного объекта, (согласно «Кризис предупреждения чрезвычайных ситуаций и пути его преодоления: учебно-практическое пособие») равно  $10^{-4} \text{ год}^{-1}$ . Вероятность разгерметизации емкости ФС по причине человеческой ошибки составит  $10^{-4}$  (по формуле 4).

Значение вероятности пропуска дефекта при ВИК (согласно «Good practices in visual inspection») равно 0,65.

Расчетные значения «промежуточных» событий, приводящих к разгерметизации емкости ФС, представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Расчетные значения «промежуточных» отказов, приводящих к разгерметизации емкости ФС

п/п	Вторичный отказ, приводящий к разгерметизации емкости ФС	Вероятность отказа	Обозначение
1	Превышение давления в сепараторе	$3,875 \cdot 10^{-7}$	$Q_{2-4}$
2	Внешние воздействия	$1,010 \cdot 10^{-4}$	$Q_{5-6}$
3	Потеря герметичности соединения	$1,141 \cdot 10^{-3}$	$Q_{8-9}$
4	Разгерметизация соединения	$9,695 \cdot 10^{-6}$	$Q_{8-10}$
5	Физический износ	$Q_1 \cdot Q_{\text{баз}}$	$Q_1\text{-баз}$

Расчетные значения головного события - разгерметизация емкости ФС с учетом периода эксплуатации оборудования - представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Расчетные значения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

№ п/п	Период эксплуатации емкости ФС	Вероятность разгерметизации
1	При эксплуатации 2 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
2	При эксплуатации 4 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
3	При эксплуатации 6 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
4	При эксплуатации 8 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
5	При эксплуатации 10 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
6	При эксплуатации 12 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
7	При эксплуатации 14 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
8	При эксплуатации 16 лет	$2,142 \cdot 10^{-4}$
9	При эксплуатации 18 лет	$2,851 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 5 - Расчетные значения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

№ п/п	Период эксплуатации емкости ФС	Вероятность разгерметизации
10	При эксплуатации 20 лет	$8,373 \cdot 10^{-4}$
11	При эксплуатации 22 лет	$2,975 \cdot 10^{-3}$
12	При эксплуатации 24 лет	$8,169 \cdot 10^{-3}$
13	При эксплуатации 26 лет	0,017
14	При эксплуатации 28 лет	0,030
15	При эксплуатации 30 лет	0,046

Графическое отображение изменения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации представлено на рисунке 6.

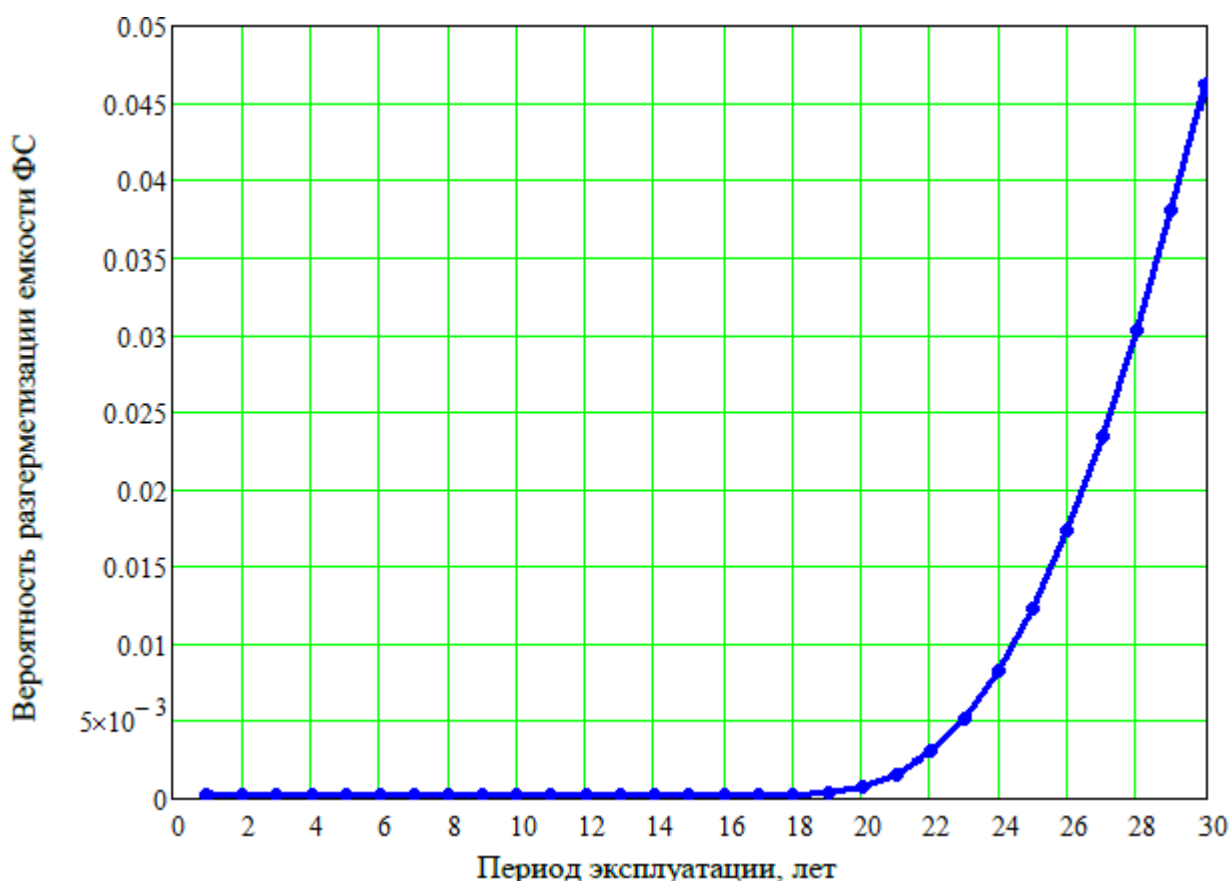


Рисунок 6 - Графическое отображение изменения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

Частота (интенсивность) разгерметизации емкости ФС в год определяется по формуле, являющейся следствием формулы 4:

$$\lambda_{\text{разг}}(\tau) = -\ln(1 - Q_{\text{разг}}(\tau)) \quad (5)$$

Расчетные значения частоты разгерметизации емкости ФС с учетом периода эксплуатации оборудования представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Расчетные значения частоты разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

п/п	Период эксплуатации емкости ФС	Частота разгерметизации, 1/год
1	При эксплуатации 2 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
2	При эксплуатации 4 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
3	При эксплуатации 6 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
4	При эксплуатации 8 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
5	При эксплуатации 10 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
6	При эксплуатации 12 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
7	При эксплуатации 14 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
8	При эксплуатации 16 лет	$2,142 \cdot 10^{-4}$
9	При эксплуатации 18 лет	$2,852 \cdot 10^{-4}$
10	При эксплуатации 20 лет	$8,376 \cdot 10^{-4}$
11	При эксплуатации 22 лет	$2,980 \cdot 10^{-3}$
12	При эксплуатации 24 лет	$8,202 \cdot 10^{-3}$
13	При эксплуатации 26 лет	0,018
14	При эксплуатации 28 лет	0,031
15	При эксплуатации 30 лет	0,047

Графическое отображение изменения частоты разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации представлено на рисунке 7.



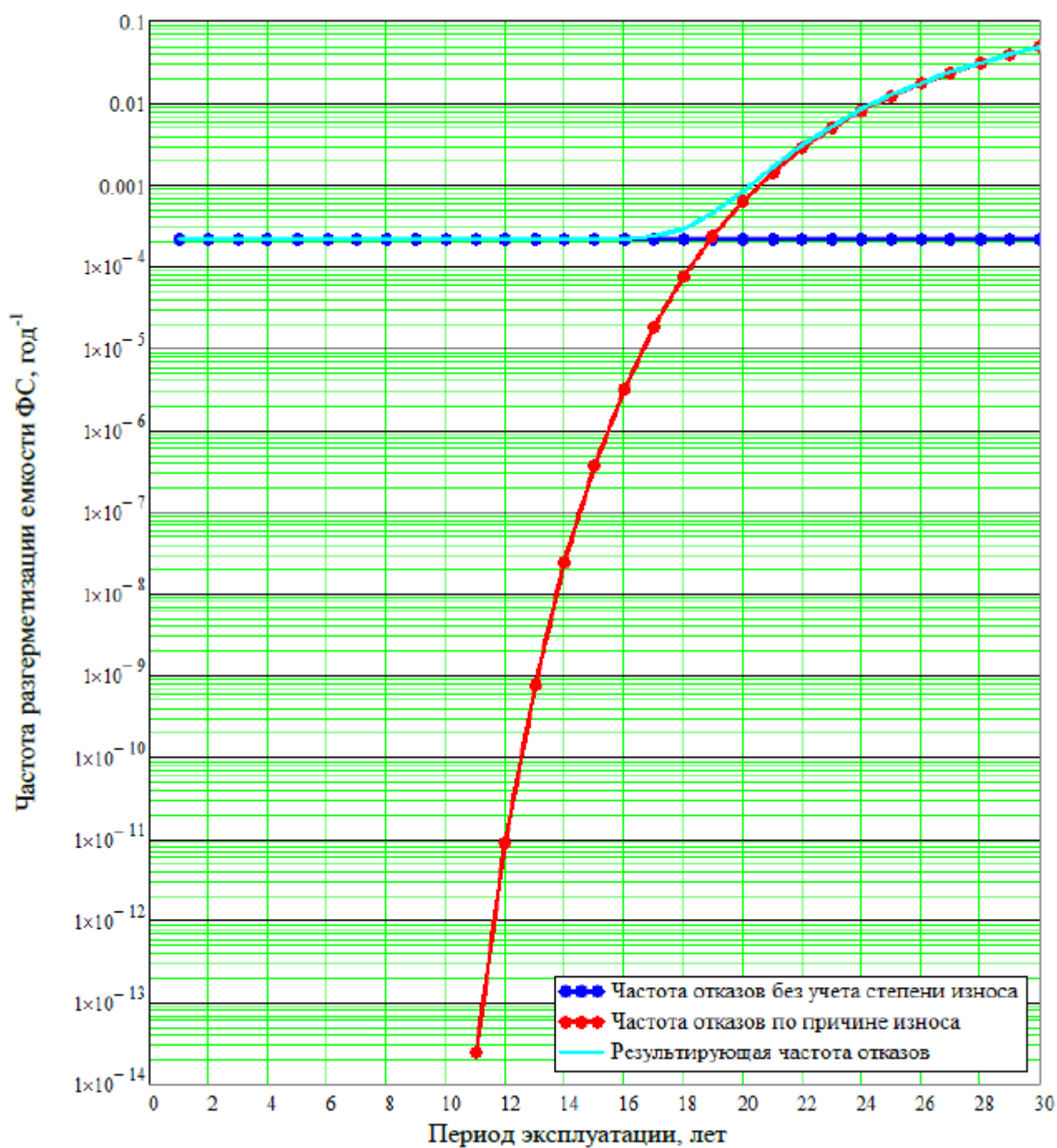


Рисунок 7 - Графическое отображение изменения частоты разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

При периоде эксплуатации менее 16 лет значение результирующей интенсивности отказов емкости ФС практически совпадает со значением без учета степени износа. Факторами, определяющими интенсивность отказов в этом случае, являются отказы систем КИПиА, внешние воздействия и ошибки персонала.

В интервале эксплуатации от 16 до 22 лет отмечается некоторое увеличение интенсивности отказов.

Область значений свыше 22 лет характеризуется резким возрастанием значений интенсивности отказа. При этом результирующая интенсивность отказов (разгерметизация емкости) практически совпадает с интенсивностью отказов по причине износа. Следовательно, можно полагать, что на этой стадии износа интенсивность отказов емкости определяется уже ее собственным техническим состоянием и перестает зависеть от отказов систем КИПиА, внешних воздействий и ошибок персонала.

#### 2.6.4 Вероятность разгерметизации емкости ФС после отступления от норм и правил и установки СКДМ

На рисунке 8 представлено «дерево отказов», полученное по результатам анализа причин разгерметизации емкости ФС.

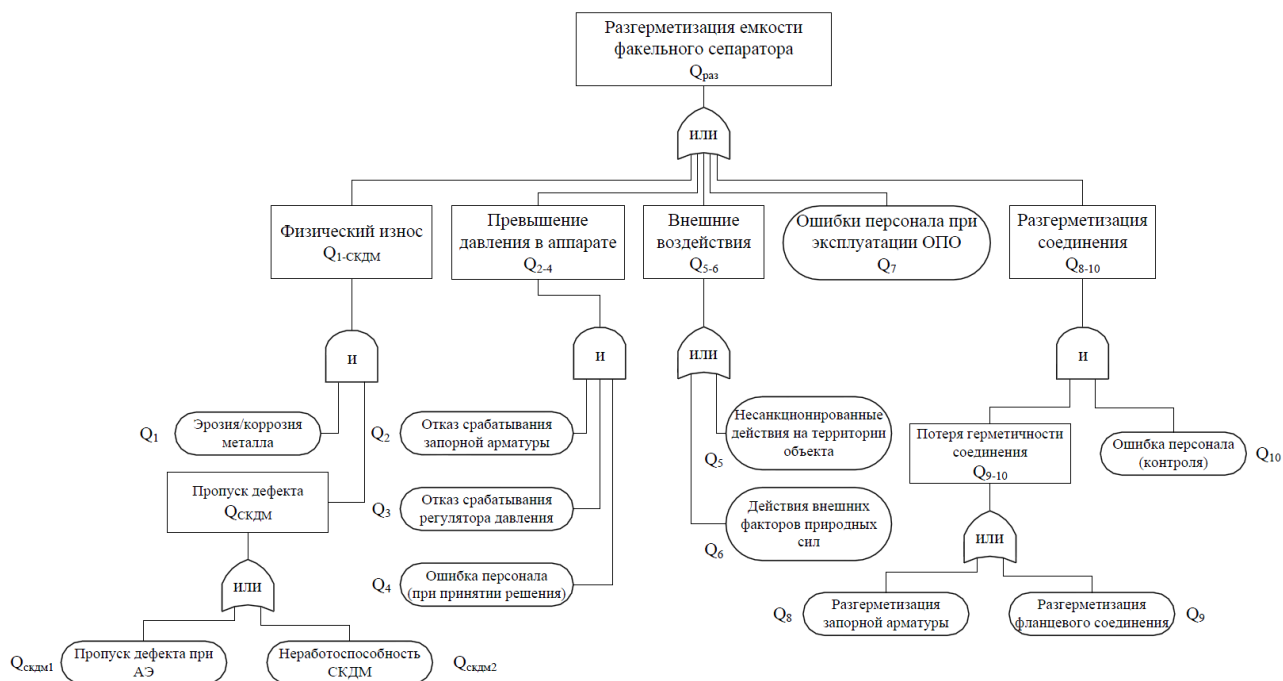


Рисунок 8 - «Дерево отказов», полученное по результатам анализа причин разгерметизации емкости ФС

При оценке частоты разгерметизации емкости ФС методом «деревьев отказов» в качестве оценок вероятностей «исходных» событий использовались значения, представленные в таблице 7.

Таблица 7 - Вероятности «исходных» событий, приводящих к разгерметизации емкости ФС

№ п/п	Первичный отказ, приводящий к разгерметизации емкости ФС	Вероятность отказа	Обозначение
1	Отказ срабатывания запорной арматуры	$5,869 \cdot 10^{-3}$	$Q_2$
2	Отказ срабатывания регулятора давления	$7,766 \cdot 10^{-3}$	$Q_3$
3	Ошибка персонала (в принятии решения)	$8,500 \cdot 10^{-3}$	$Q_4$
4	Действия внешних факторов природных сил	$1,000 \cdot 10^{-4}$	$Q_5$
5	Несанкционированные действия на территории объекта	$1,000 \cdot 10^{-6}$	$Q_6$
6	Ошибки персонала при эксплуатации (несоблюдение норм и правил, брак СМР, несоблюдение сроков планово-предупредительного ремонта и ЭПБ)	$1,000 \cdot 10^{-4}$	$Q_7$
7	Разгерметизация запорной арматуры	$9,000 \cdot 10^{-5}$	$Q_8$
8	Разгерметизация фланцевого соединения	$1,051 \cdot 10^{-3}$	$Q_9$
9	Ошибка персонала (контроля)	$8,500 \cdot 10^{-3}$	$Q_{10}$
10	Пропуск дефекта при АЭ	$1,400 \cdot 10^{-1}$	$Q_{скдм1}$
11	Неработоспособность СКДМ	$4,570 \cdot 10^{-4}$	$Q_{скдм2}$

Интенсивность отказа срабатывания для запорной арматуры (ручной переключающей) принята  $9,811 \cdot 10^{-4}$  отказов в год ( $0,112 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ) по нижнему пределу по ГОСТ 12.1.004-91. При расчете вероятности отказа принято 6 узлов запорной арматуры согласно конструктивным характеристикам объекта. Вероятность отказа срабатывания для запорной арматуры с учетом количества узлов составит  $5,887 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$  (по формуле 4).

Интенсивность отказа срабатывания регулятора давления принята  $7,796 \cdot 10^{-3}$  отказов в год ( $0,89 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ) по нижнему пределу по ГОСТ 12.1.004-91. Вероятность отказа (по формуле 4) срабатывания регулятора давления составит  $7,766 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

В процессе изготовления и эксплуатации объекта персоналом не должны совершаться действия, непредусмотренные или запрещенные документацией.

Вероятность совершения ошибок человеком зависит от многих факторов: его физического и психологического состояния, квалификации, напряженности труда, вида деятельности, эргономики производственной среды и т.д. Вероятность безошибочного выполнения пункта должностной инструкции в сложных и напряженных ситуациях (согласно «Анализ риска опасных производственных объектов. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Управление техносферной безопасностью») составляет  $0,9915 \dots 0,9955$ , следовательно вероятность ошибки персонала при выполнении должностных обязанностей составит  $4,5 \cdot 10^{-3} \dots 8,5 \cdot 10^{-3}$ .

Значение вероятности воздействия внешних факторов природных сил на технологическое оборудование промышленных объектов (согласно «Кризис предупреждения чрезвычайных ситуаций и пути его преодоления: учебно-практическое пособие») равно  $10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . С учетом сложности местности и суровых климатических условий эксплуатации оборудования принято максимальное значение равное  $10^{-4} \text{ год}^{-1}$ . Вероятность разгерметизации емкости ФС по причине воздействия внешних факторов природных сил составит  $10^{-4}$  (по формуле 4).

Значение вероятности несанкционированных действий на территории объекта (согласно «Кризис предупреждения чрезвычайных ситуаций и пути его преодоления: учебно-практическое пособие») равно менее чем  $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . С учетом предусмотренных на объекте охранных мероприятий и удаленности от жилых объектов принято значение  $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Вероятность разгерметизации емкости ФС по причине несанкционированных действий составит  $10^{-6}$  (по формуле 4).

Вероятность разгерметизации узла запорной арматуры принята  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  на основании рекомендуемых значений, приведенных в таблице 8.4 СТО Газпром 2-2.3-400-2009. При расчете вероятности отказа принято 6 узлов запорной арматуры согласно конструктивным характеристикам объекта. Вероятность разгерметизации узла запорной арматуры с учетом количества узлов составит  $9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Интенсивность отказа механического (фланцевого) соединения принята  $1,752 \cdot 10^{-4}$  отказов в год ( $0,02 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ) по нижнему пределу по ГОСТ 12.1.004-91. При расчете вероятности отказа принято 6 фланцевых соединений согласно конструктивным характеристикам объекта. Вероятность разгерметизации механического (фланцевого) соединения с учетом их количества составит  $1,051 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$  (по формуле 4).

Значение вероятности человеческой ошибки при эксплуатации опасного объекта, (согласно «Кризис предупреждения чрезвычайных ситуаций и пути его преодоления: учебно-практическое пособие») равно  $10^{-4} \text{ год}^{-1}$ . Вероятность разгерметизации емкости ФС по причине человеческой ошибки составит  $10^{-4}$  (по формуле 4).

Значение вероятности пропуска дефекта при АЭ контроле (согласно «О достоверности акустико-эмиссионного контроля») равно 0,14.

Вероятность неработоспособности СКДМ в произвольный момент времени составляет

$$K_{\pi} = \frac{T_{\pi}}{T_0 + T_{\pi}} = \frac{8}{17500 + 8} = 4,570 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

где  $T_{\pi}$  – время восстановления работоспособности системы;

$T_0$  – средняя наработка на отказ.

Числовые значения для формулы 6 получены из ТУ 4222-003-02569000-06.

Расчетные значения «промежуточных» событий, приводящих к разгерметизации емкости ФС, представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Расчетные значения «промежуточных» отказов, приводящих к разгерметизации емкости ФС

п/п	Вторичный отказ, приводящий к разгерметизации емкости ФС	Вероятность отказа	Обозначение
1	Превышение давления в сепараторе	$3,875 \cdot 10^{-7}$	$Q_{2-4}$
2	Внешние воздействия	$1,010 \cdot 10^{-4}$	$Q_{5-6}$
3	Потеря герметичности соединения	$1,141 \cdot 10^{-3}$	$Q_{8-9}$
4	Разгерметизация соединения	$9,695 \cdot 10^{-6}$	$Q_{8-10}$
5	Пропуск дефекта	$1,400 \cdot 10^{-1}$	$Q_{\text{СКДМ}}$
6	Физический износ	$Q_1 \cdot Q_{\text{СКДМ}}$	$Q_{1-\text{СКДМ}}$

Расчетные значения головного события - разгерметизация емкости ФС с учетом периода эксплуатации оборудования - представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Расчетные значения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

№ п/п	Период эксплуатации емкости ФС	Вероятность разгерметизации
1	При эксплуатации 2 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
2	При эксплуатации 4 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
3	При эксплуатации 6 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
4	При эксплуатации 8 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
5	При эксплуатации 10 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
6	При эксплуатации 12 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
7	При эксплуатации 14 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
8	При эксплуатации 16 лет	$2,117 \cdot 10^{-4}$
9	При эксплуатации 18 лет	$2,271 \cdot 10^{-4}$
10	При эксплуатации 20 лет	$3,463 \cdot 10^{-4}$
11	При эксплуатации 22 лет	$8,081 \cdot 10^{-4}$
12	При эксплуатации 24 лет	$1,930 \cdot 10^{-3}$
13	При эксплуатации 26 лет	$3,913 \cdot 10^{-3}$
14	При эксплуатации 28 лет	$6,727 \cdot 10^{-3}$
15	При эксплуатации 30 лет	0,010

Графическое отображение изменения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации представлено на рисунке 9.

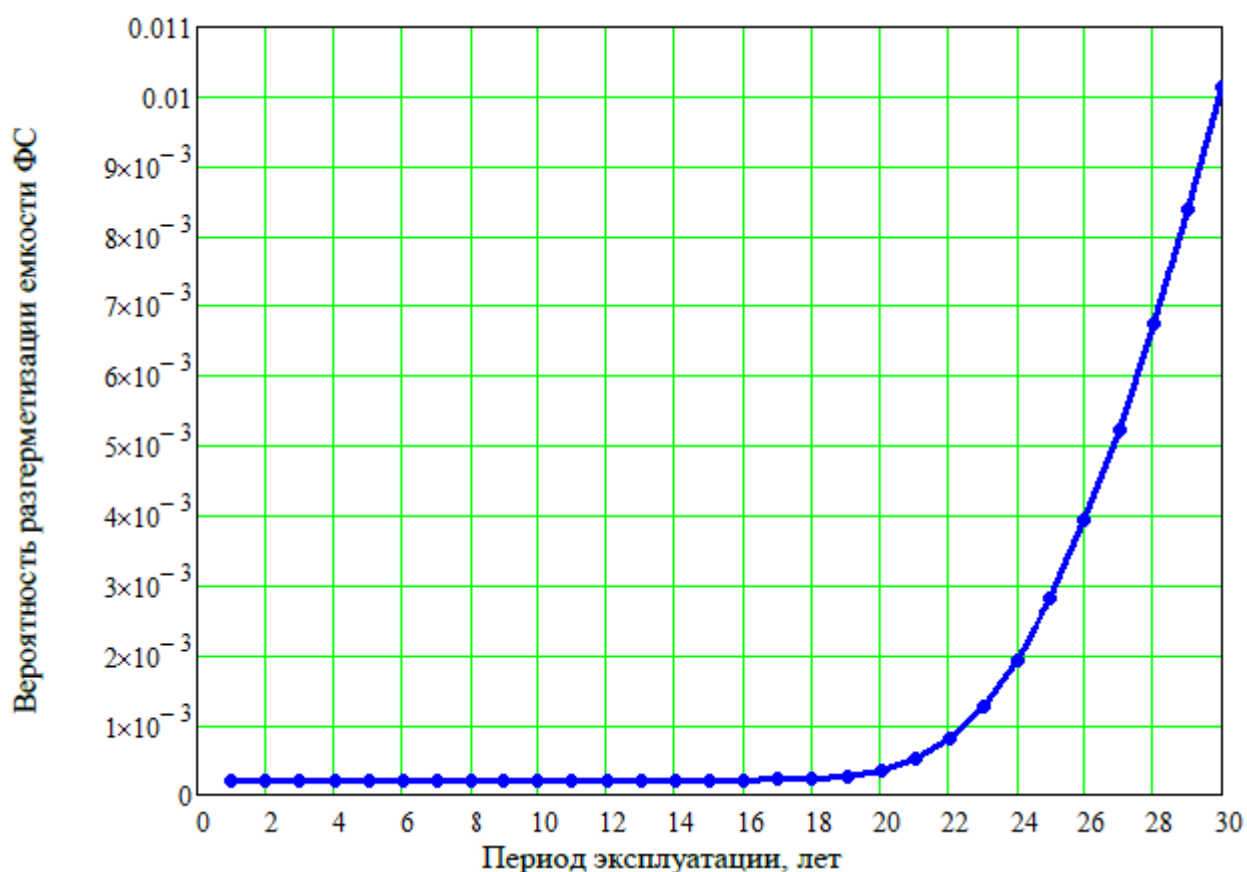


Рисунок 9 - Графическое отображение изменения вероятности разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

Частота (интенсивность) разгерметизации емкости ФС в год определяется по формуле 5.

Расчетные значения частоты разгерметизации емкости ФС с учетом периода эксплуатации оборудования представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Расчетные значения частоты разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

№ п/п	Период эксплуатации емкости ФС	Частота разгерметизации, 1/год
1	При эксплуатации 2 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
2	При эксплуатации 4 года	$2,111 \cdot 10^{-4}$
3	При эксплуатации 6 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
4	При эксплуатации 8 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
5	При эксплуатации 10 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
6	При эксплуатации 12 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
7	При эксплуатации 14 лет	$2,111 \cdot 10^{-4}$
8	При эксплуатации 16 лет	$2,118 \cdot 10^{-4}$
9	При эксплуатации 18 лет	$2,271 \cdot 10^{-4}$
10	При эксплуатации 20 лет	$3,464 \cdot 10^{-4}$
11	При эксплуатации 22 лет	$8,085 \cdot 10^{-4}$
12	При эксплуатации 24 лет	$1,932 \cdot 10^{-3}$
13	При эксплуатации 26 лет	$3,920 \cdot 10^{-3}$
14	При эксплуатации 28 лет	$6,750 \cdot 10^{-3}$
15	При эксплуатации 30 лет	0,010

Графическое отображение изменения частоты разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации представлено на рисунке 10.

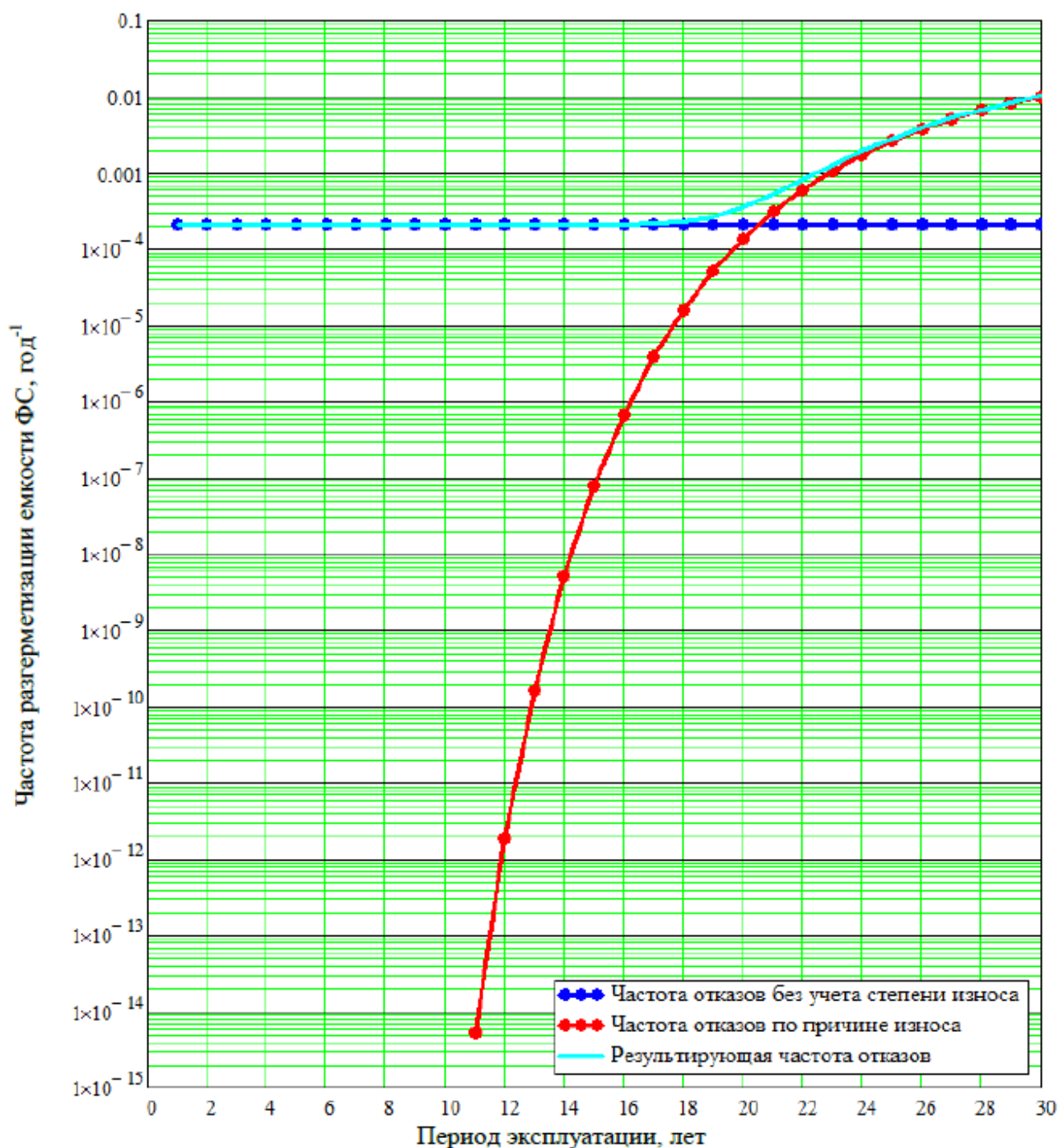


Рисунок 10 - Графическое отображение изменения частоты разгерметизации емкости ФС в зависимости от периода эксплуатации

При периоде эксплуатации менее 16 лет значение результирующей интенсивности отказов емкости ФС практически совпадает со значением без учета степени износа. Факторами, определяющими интенсивность отказов в этом случае, являются отказы систем КИПиА, внешние воздействия и ошибки персонала.



В интервале эксплуатации от 16 до 22 лет отмечается некоторое увеличение интенсивности отказов.

Область значений свыше 22 лет характеризуется резким возрастанием значений интенсивности отказа. При этом результирующая интенсивность отказов (разгерметизация емкости) практически совпадает с интенсивностью отказов по причине износа. Следовательно, можно полагать, что на этой стадии износа интенсивность отказов емкости определяется уже ее собственным техническим состоянием и перестает зависеть от отказов систем КИПиА, внешних воздействий и ошибок персонала.

### **2.6.5 Выводы**

По результатам проведенного анализа определено, что увеличение интервала между внутренними осмотрами повышает только риск возникновения отказов по причине износа вследствие невыявления внутренних коррозионных повреждений.

Частота возникновения отказа в год головного события - разгерметизация емкости ФС с учетом периода эксплуатации оборудования – для периодов эксплуатации 2 и 8 лет не зависит от износа и составляет  $2,111 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ .

Однако практика показывает, что использование сложных количественных методов анализа риска зачастую дает значения показателей риска, точность которых для сложных технических систем невелика, т.к. получаемые в процессе риск-анализа оценки не являются абсолютно верными из-за неточности и недостаточности исходных данных, неопределенности параметров интенсивности отказов, неучета технического состояния элементов технической системы и др.

В связи с этим назначено компенсирующее мероприятие - установка СКДМ, которая способна выявлять опасные производственные и эксплуатационные дефекты (в том числе и коррозионного/эрозионного характера) на ранней стадии их зарождения и предупреждать их развитие до критической величины, что позволяет увеличить интервал между внутренними

осмотрами и значительно снизить риск возникновения аварийной ситуации по причине износового отказа.

Сравнение двух вариантов в графическом виде представлено на рис. 11.

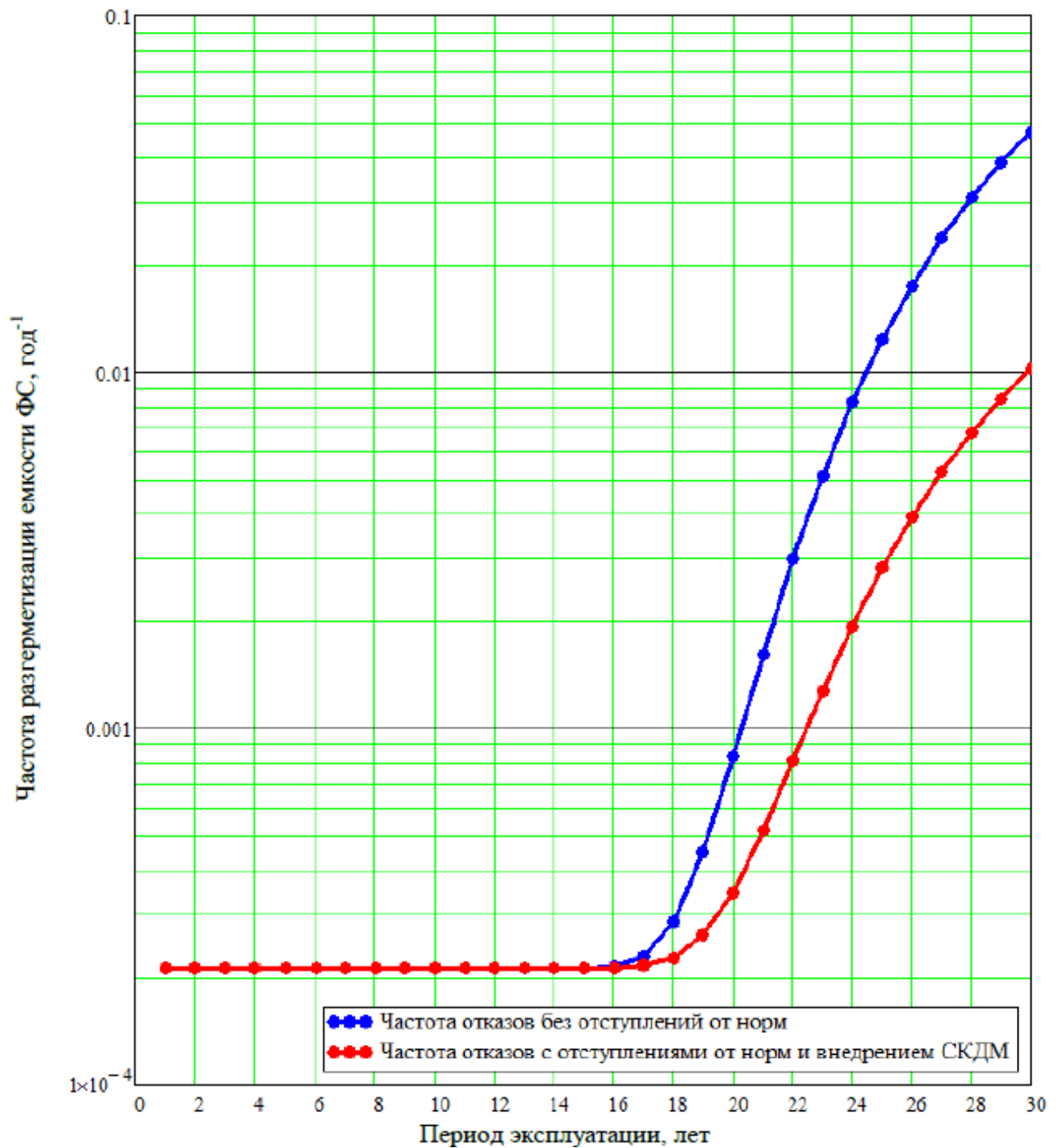


Рисунок 11 - Сравнение двух вариантов

## **2.7 Организационные требования, отражающие особенности эксплуатации факельных сепараторов**

Монтаж, обслуживание СКДМ, регистрацию, анализ и интерпретацию данных СКДМ, оценку технического состояния ФС по данным СКДМ, формирование отчетных документов должна выполнять специализированная организация.

СКДМ должна быть сертифицирована независимым органом по сертификации и поверена в установленном порядке, лаборатория неразрушающего контроля Исполнителя и специалисты, обслуживающие СКДМ, должны быть аттестованы уполномоченными органами по аттестации лабораторий неразрушающего контроля и персонала.

Применение СКДМ позволяет проводить оценку технического состояния и определять срок безопасной эксплуатации ФС без вывода их из эксплуатации. Суммарный срок непрерывной эксплуатации должен составлять не более 8 лет. При эксплуатации ФС с установленной СКДМ проводятся следующие мероприятия:

- надзор во время эксплуатации – в соответствии с положениями раздела 3.3 СТО СА-03-004-2009;
- техническое освидетельствование - в соответствии с положениями раздела 3.4 СТО СА-03-004-2009;
- частичное диагностирование (без выведения ФС из эксплуатации), в случае сигнализации СКДМ о нештатной ситуации или рекомендаций Исполнителя.
- внеочередное техническое освидетельствование, в случае сигнализации СКДМ о нештатной ситуации или рекомендаций Исполнителя;
- экспертное техническое диагностирование – при неудовлетворительных результатах частичного диагностирования, внеочередного или очередного ТО, по завершению срока службы ФС (назначенного срока безопасной эксплуатации).

Организация и выполнение надзора во время эксплуатации ФС является обязанностью предприятия-владельца и должны производиться эксплуатационным персоналом. Периодичность надзорных мероприятий во время эксплуатации ФС определяется п. 3.3.3, состав работ при наружном осмотре – п. 3.3.5 СТО СА-03-004-2009. Эксплуатация ФС может быть прекращена в соответствии с п. 3.3.7 СТО СА-03-004-2009. При выполнении надзора во время эксплуатации должно оцениваться состояние и работоспособность СКДМ.

Техническое освидетельствование ФС должно проводиться не реже чем раз в 8 лет специалистом специализированной организации, лицом, отвечающим за осуществление производственного контроля за эксплуатацией сосудов, работающих под давлением и ответственным за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов в соответствии с положениями разделов 3.4 и 3.5 СТО СА-03-004-2009:

- наружный, внутренний осмотры;
- толщинометрия;
- гидравлическое испытание.

Гидравлическое испытание ФС пробным давлением должно сопровождаться АЭ контролем (возможно использование установленной СКДМ). Акустико-эмиссионный контроль должен проводиться в соответствии с действующей НД.

Техническое освидетельствование включает также проверку работоспособности СКДМ.

Частичное диагностирование (без выведения ФС из эксплуатации) должно проводиться в случае сигнализации СКДМ о нештатной ситуации или рекомендаций Исполнителя. Частичное диагностирование включает:

- наружный осмотр ФС;
- проверку работоспособности СКДМ;

- контроль АЭ на рабочем режиме ФС при изменении рабочего давления на 5-10%;

Частичное диагностирование может включать применение иных методов неразрушающего контроля и исследования металла ФС.

Частичное диагностирование проводится специалистами Исполнителя и/или специалистами другой специализированной организации.

Внеочередное техническое освидетельствование, в случае сигнализации СКДМ о нештатной ситуации или рекомендаций Исполнителя, проводится в соответствии с положениями п. 3.6 настоящих Методических рекомендаций.

Анализ данных мониторинга, оценка технического состояния и выдача технических отчетов с назначением очередного периода безопасной эксплуатации ФС без вывода их из эксплуатации должны выполняться специалистами Исполнителя не реже одного раза в год.

## **2.8 Анализ опыта эксплуатации подобных опасных производственных объектов**

Поставщик оборудования (ООО «ИНТЕРЮНИС»), определенный на этапе проектирования имеет многолетний положительный опыт применения СКДМ на ОПО.

В эксплуатации находятся более 25 СКДМ, 20 из которых используются на объектах нефтегазового комплекса (ОПО I и II класса). Всего внедрено более 1800 измерительных каналов.

ОАО «Мозырский НПЗ», одно из первых в Беларуси предприятий, внедривших у себя в конце 2006 года СКДМ, производства ООО «ИНТЕРЮНИС». Она была установлена на реакторе Р-301 гидроочистки дизельного топлива установки ЛК-6У №1, на котором по результатам обследования были определены дефекты, требующие постоянного контроля, такие как локальные отслоения плакировки от основного металла, следы коррозии в виде «паутины», язвы плакировки, протяженные несплошности в сварных швах.

После выполнения мероприятий по обеспечению дополнительной безопасности, Проматомнадзор разрешил его эксплуатацию при условии работы на нем СКДМ.

Постоянный контроль технического состояния реактора осуществлялся до его замены на новый. Информация и результаты внедрения СКДМ приведены в следующих источниках:

- Журнал «Вестник Белнефтехима» № 4 (15) апрель 2007 ПРЕДУПРЕЖДЕН, значит — ЗАЩИЩЕН.
- Газета Республика № 68 (4247) 11 апреля 2007 Безостановочный контроль.
- Журнал «В мире неразрушающего контроля» № 4(42) - декабрь 2008 Метод статистической обработки данных акустико-эмиссионного мониторинга на примере реактора гидроочистки Мозырского НПЗ.

Компанией ООО «ИНТЕРЮНИС» разработан стандарт организации «Методика комплексного диагностического мониторинга изотермических резервуаров сжиженных газов» (СТО-03-001-10). Настоящий стандарт одобрен Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Письмо № 08-01-03/8207 от "18" ноября 2010 г.) и утвержден координационным советом Научно-промышленного союза «РИСКОМ» (Протокол №25 от "16" августа 2011 г.).

Применение СКДМ, соответствующей требованиям СТО, позволяет провести оценку технического состояния и определить остаточный ресурс безопасной эксплуатации изотермического резервуара без вывода его из эксплуатации.

Подобные системы мониторинга внедрены ООО «ИНТЕРЮНИС» на заводе окиси этилена и гликолей ОАО «Сибур-Нефтехим» (ИР пропилена – 5000м<sup>3</sup>, ИР пропилена – 10000м<sup>3</sup> и ИР этилена – 10000м<sup>3</sup>) и ООО «Тобольск-Нефтехим» (ИР ШФЛУ – 20000м<sup>3</sup> и ИР бутана – 20000м<sup>3</sup>).

В результате аварии и последующего пожара, произошедших 15 декабря 2011 года на территории предприятия ООО «СТАВРОЛЕН» технологическое оборудование узла 56 «Разделение пропан-пропиленовой фракции» цеха №2

получило повреждения вследствие воздействия ударной волны, огня, конвективного воздействия теплового потока и воды, использованной при пожаротушении.

В результате воздействия ударной волны на колоннах произошло частичное разрушение термической изоляции. На металл несущих элементов в течение длительного времени воздействовал неконтролируемый тепловой поток.

В рамках проведения ЭПБ было принято решение поэтапного внедрения корректирующих и мониторинговых мероприятий.

Техническое состояние колонн в целом было признано удовлетворительным. Вместе с тем, колонны имели следующие дефекты и повреждения, подлежащие мониторингу в процессе эксплуатации:

- отклонение от вертикальной оси (крен), неравномерное по высоте колонны;
- остаточные напряжения, возникшие при неконтролируемом тепловом воздействии во время пожара.

Внедрение СКДМ позволило продлить срок службы колонных аппаратов.

## **2.9 Анализ результатов осуществления производственного контроля, проводимого в рамках системы управления промышленной безопасностью**

Очередное техническое освидетельствование ФС V-5710, V-5730, V-5810 было проведено 07.05.2014, 10.09.2014, 04.09.14, соответственно. По результатам освидетельствования ФС были признаны исправными и годными к дальнейшей эксплуатации на параметрах, установленных в паспортах сосудов.

## **2.10 Исходные данные и их источники, в том числе данные по аварийности и надежности**

Для определения частоты реализации аварийных ситуаций на объекте используется информация:

*1) Об отказах оборудования, используемого на объекте.*

На текущий момент на ЦПС Ванкорского месторождения аварий, инцидентов и несчастных случаев не было.

Основные причины и факторы, связанные с отказами оборудования:

а) Опасности, связанные с типовыми процессами.

Факельные сепараторы являются оборудованием, в котором протекают массообменные процессы. К массообменным процессам относятся процессы сепарации, которые осуществляются в сепарационном оборудовании при повышенной температуре и избыточном давлении.

Процесс сепарации на оборудовании герметичен. По характеру протекания процессов опасность внутренних взрывов в оборудовании, работающем под давлением маловероятна, т.к. для возникновения взрыва необходимо выполнение трех условий:

- наличие горючего вещества, способного образовать взрывоопасную смесь с окислителем;
- наличие окислителя в количестве, необходимом для образования взрывоопасной смеси;
- наличие источника зажигания.

Для условий работы проектируемого оборудования окислителем является кислород атмосферного воздуха, но т.к. оборудование герметизировано и работает под давлением выше атмосферного, подсос воздуха внутрь аппаратов в рабочем режиме исключается.

Источники зажигания внутри аппаратов в рабочем режиме отсутствуют.

В процессе работы емкостного оборудования, работающего при атмосферном давлении, возможен подсос воздуха во внутреннее пространство емкостей сепаратора. Таким образом, внутри емкости возможно образование взрывоопасной среды, что создает дополнительные факторы, способствующие возникновению и развитию аварий.



Возможно образование взрывоопасного облака паров ЛВЖ с воздухом. При возникновении источника зажигания возможно воспламенение облака ПВС и пожар разлива ЛВЖ.

Под влиянием внешних факторов (механических повреждений, взрывов и пожаров на соседнем оборудовании) может произойти разгерметизация оборудования и высвобождение опасных веществ с образованием облаков взрывоопасных ТВС и разливом горючей жидкости. Возможен взрыв облака ТВС, пожар пролива горючей жидкости.

б) Физический износ, коррозия, механические повреждения оборудования

Одной из причин разгерметизации аппаратов, емкостей является коррозия (наружная и внутренняя). Коррозия чаще встречается вблизи или на уровне земли.

Коррозионное повреждение может не проявляться до тех пор, пока структура не будет подвергнута необычной дополнительной нагрузке (ветровой, сейсмической).

Внутренняя коррозия технологического оборудования обуславливается коррозионными свойствами веществ, присутствующих в нефтяном газе.

Коррозионное разрушение оборудования обычно проявляется в виде коррозионных свищей и редко приводит к полному разрушению аппарата или трубопровода. Однако, несмотря на локальный характер коррозионных разрушений, при несвоевременной локализации, выбросы опасных веществ могут привести к возгоранию газа или конденсата, выделяющихся через коррозионное отверстие, и вызывать дальнейшую эскалацию аварии.

в) Прекращение подачи энергоресурсов (электроэнергии)

Одной из причин аварий может быть отключение электроэнергии и падение напряжения, прекращение подачи осушенного воздуха к приборам КИПиА более двух часов.

Отказы систем автоматики могут привести к выходу рабочих параметров оборудования за допустимые пределы, что может привести к разгерметизации

или полному разрушению оборудования. Выбросы опасных веществ при таких авариях также могут вызвать взрывы и пожары на оборудовании и отключение систем, осуществляющих измерение технологических параметров процесса.

#### г) Ошибки персонала

Ведение технологического процесса требует от обслуживающего персонала высокой квалификации и повышенного внимания. Особую опасность представляют ошибки при пуске и остановке оборудования, проведении ремонтно-профилактических и других работ, связанных с неустойчивыми переходными режимами, с освобождением и заполнением оборудования опасными веществами.

В случае неправильных действий персонала существует опасность разгерметизации системы и возникновения крупномасштабной аварии.

Серьезные аварии иногда со смертельным исходом бывают вызваны ошибками в ходе эксплуатации. Из мировой статистики известно, что 25 % всех серьезных неполадок при эксплуатации опасных производственных объектов возникают при их ремонте.

Анализ аварийности и травматизма на подконтрольных Ростехнадзору предприятиях подтверждает, что причинами возникновения аварийных ситуаций, связанными с ошибочными действиями персонала являются нарушения технологической (21%) и производственной дисциплины (7%), а также неудовлетворительной организацией проведением опасных видов работ (13%). Для факельных сепараторов предусмотрена высокая степень автоматизации технологических процессов, система противоаварийной защиты, что обеспечивает минимальное участие работников объекта в управлении технологическом процессе, и снижению вероятности влияния ошибочных действий работников.

Ошибочные действия работников объекта учтены при построении «дерева отказов», полученного по результатам анализа причин разгерметизации емкости ФС и представленного на рисунке 5.

#### д) Внешние воздействия природного и социального характера

Наиболее опасным природным воздействием для оборудования являются разряды молний. В оборудовании обращаются пожаровзрывоопасные вещества. При прямых ударах молнии возможно разрушение или разгерметизация оборудования, взрывы, которые могут привести к разрушению оборудования, пожару и дальнейшей эскалации аварии. Несанкционированные или террористические действия на территории объекта, так же являются источниками возможных аварий.

По схеме геоморфологического районирования Западно-Сибирской низменности район проектирования относится к области моренных и водно-ледниковых приподнятых волнистых равнин.

Район размещения объектов, согласно климатическому районированию, расположен в атлантической области субарктического климатического пояса, на территории пограничной с сибирской областью этого же пояса.

Основная черта климата – резкая континентальность, которая проявляется в больших различиях между температурами зимы и лета, а также между дневными и ночными температурами. Зима суровая с сильными ветрами, продолжительностью восемь месяцев. Лето короткое прохладное.

Абсолютный минимум температуры воздуха по метеостанции Игарка минус 60 °С. Средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки минус 49 °С, наиболее холодного периода минус 33 °С. Абсолютный максимум температуры 33 °С. Годовая амплитуда колебания температуры воздуха достигает 90 °С.

Средняя годовая скорость ветра 4,1 м/с. Повторяемость штилей за год по метеостанции Игарка составляет 7 дней в году.

Туманы наблюдаются довольно часто – 74 дня в году. Чаще всего туманы наблюдаются в июне и сентябре до 10 дней в месяц. Метели наблюдаются в среднем 133 дня в году. В отдельные зимние месяцы (январь – март) почти ежегодно бывают метели (до 27 – 30 дней в месяц). Поземки наблюдаются редко – 14 дней в году, не превышая 3 дней в месяц. Грозы отмечаются в течение 4 дней за период с мая по сентябрь, чаще всего в июле (2 дня).

Наибольшее число дней с грозой в году – 15. Град – явление редкое для рассматриваемого района – 0,3 дня в году.

е) Географические особенности местности в районе размещения объекта По климатическому районированию для строительства территория относится к району 1 Б (СНиП 23-01-99). Район изысканий относится к I дорожно-климатической зоне (СНиП 2.05.02 - 85\*). В соответствии с СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия» район строительства по расчетному значению веса снегового покрова относится к VI району; по давлению ветра – к III району; по толщине стенки гололеда – ко II району.

Согласно СНиП II-7-81\*, проектируемые сооружения относятся к объектам повышенной ответственности. По карте ОСР-97-В (5%-ная вероятность возможного превышения в течение 50 лет указанных на карте значений сейсмической интенсивности) – сейсмичность района менее 6 баллов. Таким образом, рассматриваемый район не относится к сейсмически опасным.

Объекты находятся в условиях сурового континентального климата, что является дополнительной нагрузкой при эксплуатации. Разгерметизации оборудования с учетом возможного штиля на территории объекта (вероятность штиля составляет - 0,019) приведет к образованию взрывоопасному газозоудушному облаку. Сочетание таких ситуаций учитывается при формировании дерева событий при проведении оценки риска.

## ***2) О параметрах надежности используемого на объекте оборудования.***

Надежность оборудования - свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции характеризуется такими параметрами как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость.

При эксплуатации технологического оборудования возможны повреждения различного уровня, накопленных в процессе его реальной длительной эксплуатации, что существенно искажает результаты оценки риска, снижает их ценность.

Согласно техническим паспортам на сепараторы V-5730\*, V-5710\*, V-5810\*, расчетный срок службы составляет 30 лет.

Факельные сепараторы прошли неразрушающий контроль сварных соединений в объеме 100 % и соответствует требованиям ГОСТ 7512-82, ГОСТ 23055-78, ОСТ 26-291-94, ГОСТ 52630-2006.

Предусматриваемая СКДМ сертифицирована на соответствие требованиям государственных стандартов (технических условий) и нормативных документов, утвержденных в установленном порядке, и имеет разрешение Ростехнадзора на их применение в соответствии с требованиями «Положение о порядке выдачи разрешений на применение технических устройств на опасных производственных объектах», утвержденного постановлением Госгортехнадзора России от 14.06.2002 №25 и зарегистрированного в Минюсте России 08.08.2002 рег. № 3673.

## **2.11 Анализ опасностей отклонений технологических параметров от регламентных**

В ФС V-5710, V-5730, V-5810 обращаются опасные вещества: горючие вещества – жидкости (газовый конденсат), воспламеняющиеся вещества – газы (нефтяной газ, природный газ). При отклонениях технологических параметров от регламентных возможно возникновение различных видов аварийных ситуаций. В связи с чем проведен анализ опасности отклонения технологических параметров от регламентных, как в случае без отступления от норм и правил, так и в случае с отступлениями. Результаты анализа представлены в таблице 11.



Таблица 11 - анализ опасности отклонения технологических параметров от регламентных.

Требование	Отступление	Базовый вариант соблюдения требований					Меры безопасности (компенсирующие мероприятия)	При отступлении от требований с учетом компенсирующих мероприятий					Вывод об изменении риска
		Событие	Опасность	Частота	Тяжесть последствий	Критичность отказа		Событие	Опасность	Частота	Тяжесть последствий	Критичность отказа	
Факельная система высокого и низкого давления. Системы 57 и 58 (V-5710, V-5730, V-5810) ФНП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»: - «п. 361. Объем работ, порядок и периодичность проведения технических освидетельствований в пределах срока службы оборудования под давлением определяется руководством (инструкцией) по эксплуатации и требованиями настоящих ФНП».	Планируется осуществлять внутренние осмотры факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 по результатам сведений мониторинга, осуществляемого системой комплексного диагностического мониторинга, но не реже 1 раз 8 лет.	Разгерметизация сепаратора с выбросом газа и разливом горючей жидкости.	Загрязнение окружающей среды	$1,48 \cdot 10^{-4}$ год <sup>-1</sup>	некритический отказ	В	Технические: Существующая система АСУТП Применение СКДМ. Организационные: Обучение технологического персонала	Разгерметизация сепаратора с выбросом газа и разливом горючей жидкости.	Загрязнение окружающей среды	$1,48 \cdot 10^{-4}$ год <sup>-1</sup>	некритический отказ	В	Изменение частоты реализации событий и изменения тяжести последствий отсутствуют
		Разгерметизация сепаратора с образованием облака ТВС/ГВС (загазованность территории).	Загрязнение атмосферы	$2,04 \cdot 10^{-4}$ год <sup>-1</sup>	некритический отказ	В		Разгерметизация сепаратора с образованием облака ТВС/ГВС (загазованность территории).	Загрязнение атмосферы	$2,04 \cdot 10^{-4}$ год <sup>-1</sup>	некритический отказ	В	Изменение частоты реализации событий и изменения тяжести последствий отсутствуют
		Разгерметизация сепаратора с взрывом облака ТВС/ГВС.	Воздействие избыточного давления взрыва на персонал зданий и сооружения.	$9,78 \cdot 10^{-7}$ год <sup>-1</sup>	катастрофический отказ	В		Разгерметизация сепаратора с взрывом облака ТВС/ГВС.	Воздействие избыточного давления взрыва на персонал зданий и сооружения.	$9,78 \cdot 10^{-7}$ год <sup>-1</sup>	катастрофический отказ	В	Изменение частоты реализации событий и изменения тяжести последствий отсутствуют
		Разгерметизация сепаратора с последующим горением пролива.	Поражения людей продуктами сгорания, загрязнение атмосферы продуктами горения	$5,59 \cdot 10^{-4}$ год <sup>-1</sup>	критический отказ	В		Разгерметизация сепаратора с последующим горением пролива.	Поражения людей продуктами сгорания, загрязнение атмосферы продуктами горения	$5,59 \cdot 10^{-4}$ год <sup>-1</sup>	критический отказ	В	Изменение частоты реализации событий и изменения тяжести последствий отсутствуют
		Разгерметизация сепаратора с последующей пожаром-вспышкой.	горения жидкости, газа, тепловое излучение пожара.	$5,59 \cdot 10^{-7}$ год <sup>-1</sup>	критический отказ	С		Разгерметизация сепаратора с последующей пожаром-вспышкой.	горения жидкости, газа, тепловое излучение пожара.	$5,59 \cdot 10^{-7}$ год <sup>-1</sup>	критический отказ	С	Изменение частоты реализации событий и изменения тяжести последствий отсутствуют

## **2.12 Результаты идентификации опасности, в том числе по проведению анализа опасностей отклонений технологических параметров от регламентных**

По результатам проведенного сравнительного анализа, представленного табличным методом (см. таблицу 11 Перечень отклонений, их возможных причин и последствий при эксплуатации ФС V-5710, V-5730, V-5810), выявлено:

- наиболее опасными по последствиям при работе ФС являются аварии, сопровождающиеся разливом газового конденсата и (или) выбросом попутного нефтяного газа при их разгерметизации (разрушении), происходящей с воспламенением (взрывом) ТВС и пожаром разлива горючей жидкости;
- наиболее вероятными при работе ФС являются аварии, сопровождающиеся разливом газового конденсата и (или) выбросом попутного нефтяного газа и последующим рассеиванием облака ТВС/ГВС и локализацией разлива конденсата.

В результате реализации наиболее опасных аварий (пожар, взрыв) на ФС высокого и низкого давления, в которых обращаются опасные вещества, образуются поражающие факторы (ВУВ при взрывах облаков ТВС и тепловое излучение горящих разлитий или горящего газа) для людей, соседних зданий и сооружений, окружающей среды и самого объекта.

При реализации наиболее вероятных аварий (разлив газового конденсата, выброс газа) происходит выброс опасных веществ, приводящих к загрязнению атмосферного воздуха, а также происходит образование разлива конденсата. Для персонала наиболее опасными являются зоны загазованности, возможно отравление нефтяным газом или парами газового конденсата.

По результатам проведенного сравнительного анализа, с учетом отступления от требований норм ФНП, а также с учетом компенсирующего мероприятий (применения СКДМ), отсутствует изменение частоты реализации событий и изменения тяжести последствий.



## 2.13 Схема развития аварийных ситуаций на факельных сепараторах ЦПС

Схема построения сценариев развития аварийных ситуаций на факельных сепараторах на рисунке 12.

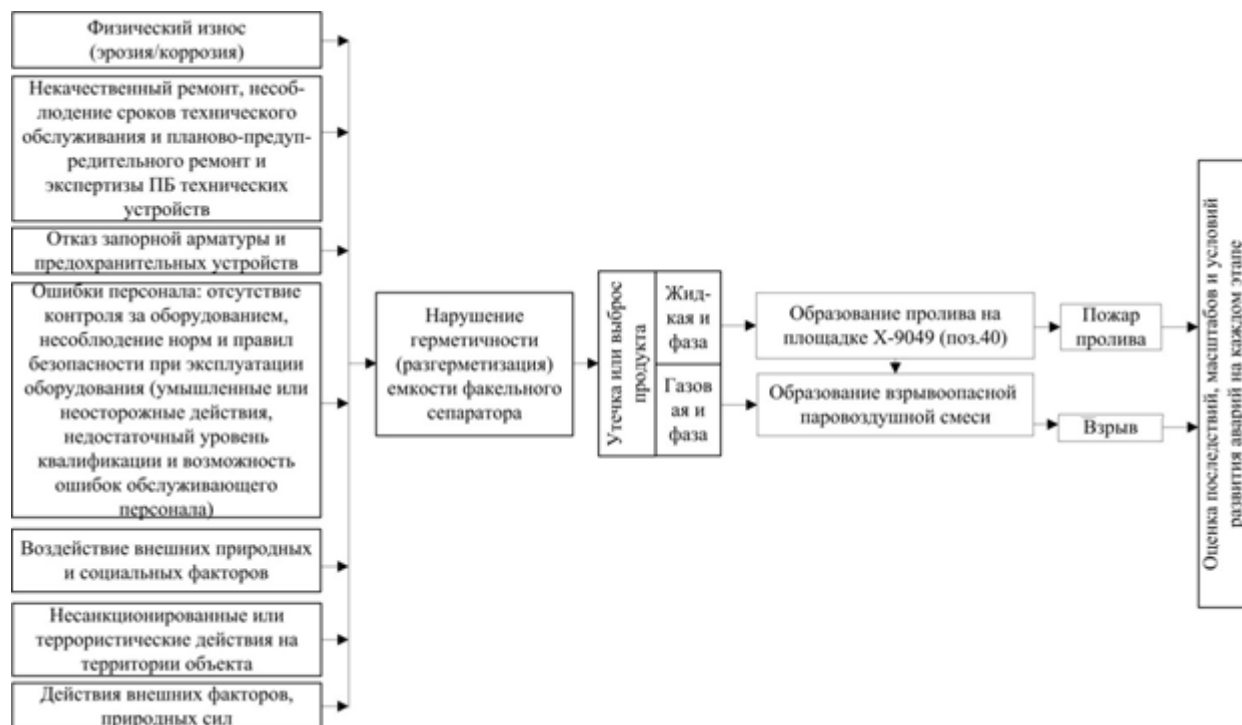


Рисунок 12 - Логическая схема развития аварийных ситуаций на ФС ЦПС

Таблица 12 - Перечень технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества

Наименование блока, позиция по схеме	Наименование оборудования, опасное вещество	Количество, шт	Расположение	Назначение	Техническая характеристика
Факельная система высокого давления					
Блок сепаратора V-5730*	Сепаратор-каплеотбойник, нефтяной газ, газовый конденсат	1	Площадка X-9049	Отделение сбрасываемого газа от жидких углеводородов	V=664 м <sup>3</sup> P=0,5 МПа t=20°C DxL=6500x20000 мм
Блок сепаратора V-5710*	Сепаратор, природный газ, газовый конденсат	1	Площадка X-9049	Отделение сбрасываемого газа от жидких углеводородов	V=593 м <sup>3</sup> P=0,5 МПа t=20°C DxL=5450x21800 мм
Факельная система низкого давления					
Блок сепаратора V-5810*	Сепаратор-каплеотбойник, нефтяной газ, природный газ, газовый конденсат	1	X-9049 (поз. 40)	Отделение сбрасываемого газа от жидких углеводородов	V=320 м <sup>3</sup> P=0,15 МПа t=20°C DxL=4800x19100 мм

Таблица 13 - Данные о распределении опасных веществ по оборудованию

Наименование блока, позиция по схеме	Наименование оборудования, опасное вещество	Количество, шт	Количество опасного вещества				Физические условия содержания опасного вещества	
			в единице оборудования (т/км, т/аппарат)		в блоке, т		давление, МПа	температура, °С
			жидкость	газ	жидкость	газ		
Факельная система высокого давления								
Блок сепаратора V-5730	Сепаратор-каплеотбойник, нефтяной газ, газовый конденсат	1	76,859	1,254	76,859	1,254	0,5	20
Блок сепаратора V-5710	Сепаратор, природный газ, газовый конденсат	1	97,093	1,120	97,093	1,120	0,5	20
Факельная система низкого давления								
Блок сепаратора V-5810	Сепаратор-каплеотбойник, нефтяной газ, природный газ, газовый конденсат	1	14,239	0,242	14,239	0,242	0,15	20

В результате реализации опасности на промышленном объекте, в оборудовании которого обращаются опасные вещества (см. таблицы 12, 13), образуются поражающие факторы для людей, окружающей среды и самого объекта. Анализ последствий реальных аварий в нефтегазовой промышленности позволяет определить наиболее характерные поражающие факторы:

- ВУВ при взрывах облаков ТВС;
- тепловое излучение горящих разливов или горящего газа;
- фрагменты, образующиеся при разрушении зданий, сооружений, технологического оборудования.

## **2.14 Перечень наиболее значимых факторов риска аварии на ЦПС и связанной с ней угрозы**

Факельные сепараторы поз. V-5710, V-5730, V-5810 расположены на территории опасного производственного объекта – Центрального пункта сбора Ванкорского месторождения. Факельные сепараторы поз. V-5710, V-5810 относятся к взрывопожароопасным объектам, в которых обращаются следующие опасные вещества: природный газ, газовый конденсат. Факельный сепаратор поз. V-5730 относится к взрывопожароопасному объекту, в котором обращаются следующие опасные вещества: нефтяной газ, природный газ и газовый конденсат.

Основная опасность эксплуатируемых факельных сепараторов реализуется через аварии, т.е. случайные события, состоящие во внезапной разгерметизации сепараторов, сопровождающейся интенсивным истечением газа и высвобождением заключенной в нем энергии в окружающее пространство, способные вызвать, как поражение людей, так и нанести определенный материальный ущерб.

К наиболее значимым факторам риска аварий на ФС высокого и низкого давления (системы 57, 58) и связанных с ними угроз относятся:

1. Наличие в аппаратах значительного количества взрывопожароопасного вещества создает опасность аварийного выброса при разгерметизации оборудования.

При эксплуатации факельных сепараторов высокого и низкого давления обращаются следующие опасные вещества:

- в сепараторе V-5730 содержится 76,859 т газового конденсата и 1,254т попутного нефтяного газа;
- в сепараторе V-5710 содержится 97,093т газового конденсата и 1,120т попутного нефтяного газа;
- в сепараторе V-5810 содержится 14,239т газового конденсата и 0,242т попутного нефтяного газа.

2. Эксплуатация ФС производится под давлением (сепараторы V-5730, V-5710 под давлением 0,5МПа, сепаратор V-5810 под давлением 0,15МПа), что создает дополнительную опасность разгерметизации.
3. Коррозионная активность окружающей среды создает дополнительную опасность аварийной разгерметизации оборудования.
4. Нарушения технологического режима и работы систем защиты.
5. Неудовлетворительная система обучения производственного персонала, слабая дисциплина могут привести к нарушению технологического процесса, требований техники безопасности и охраны труда.
6. Физический износ оборудования может привести к его разгерметизации и разрушению.
7. Воздействие статического и атмосферного электричества создают опасность возникновения источников зажигания и, как следствие, возникновению взрывов и пожаров.
8. Воздействия природного характера или несанкционированные действия на территории объектов могут привести к разгерметизации или к нарушению технологического режима, в том числе неисправности системы управления.

Наиболее опасными по последствиям при работе ФС являются аварии, сопровождающиеся разливом газового конденсата и (или) выбросом попутного нефтяного газа при их разгерметизации (разрушении), происходящей с воспламенением (взрывом) ТВС, пожар –вспышкой и пожаром разлива горючей жидкости. В результате реализации опасности на ФС высокого и низкого давления, в которых обращаются опасные вещества, образуются поражающие факторы (ВУВ при взрывах облаков ТВС и тепловое излучение горящих разливов или горящего газа) для людей, соседних зданий и сооружений, окружающей среды и самого объекта.

## **2.15 Условия безопасной эксплуатации факельных сепараторов**

В данном разделе представлена информация о режимах работы существующего оборудования, а именно ФС V-5710, V-5730 и V-5810,

входящие в состав факельных систем низкого и высокого давления ЦПС Ванкорского месторождения.

Все данные приведены из действующих документов компании ЗАО «Ванкорнефть» (декларация промышленной безопасности и технологического регламента ЦПС), а также документации на сами аппараты. В состав документации на ФС входит конструкторская и разрешительная документация, поставляемая заводами изготовителями ОАО «Дзержинскхиммаш», ООО «Энергомонтаж».

Характеристики и технологические параметры работы ФС взяты из технологического регламента ЗАО «Ванкорнефть». Цех по подготовке и перекачке нефти Ванкорского месторождения. Центральный пункт сбора № П-01.05 ТР-2150 ЮЛ-054 (см. таблицу 14).

В процессе протекания технологического режима (нормальной эксплуатации) ведется непрерывный контроль и регистрация работы технологического оборудования (ФС). Контроль и регистрация проводится как средствами автоматизации (система управления технологическим процессом и система противоаварийной защиты), так и непосредственно технологическим персоналом объекта (операторами). Непрерывная регистрация технологических параметров операторами представлена в виде записей в специальных документах (режимных листах) - пример см.таблицу 16.

Таблица 14 - Технологические параметры ФС

Составляющие объекта	Краткая характеристика составляющих объекта			
	назначение	состав	проектная мощность	метод производства
Факельная система низкого и высокого давления (системы 57, 58)	Аварийный и периодический сброс углеводородного газа от оборудования и предохранительных клапанов	Сепаратор низкого давления V-5810, насосы возврата жидкости факела низкого давления (P-5820-A/B), факельный ствол низкого давления. Сепаратор высокого давления V-5730, сепаратор высокого давления V-5710 насосы возврата жидкости факела высокого давления (P-5720-A/B), факельный ствол высокого давления	Q ФНД, нм3/час – 546538 Q ФВД, нм3/час - 32200-	Сжигание газа

Таблица 15 - Техническая характеристика ФС

№ п/п	Наименование и индекс объекта по технологической схеме	Материал	Наименование рабочей среды	Толщина стенки обечаек, мм	Ррасч, МПа	Рраб, МПа	Трасч, °С	Траб, °С
1	Каплеотбойник факела низкого давления V- 5710	12X18H10T	Нефть, пластовая вода, попутный газ	28	1,1	0,5	+200/+220	+0...+50
2	Каплеотбойник факела высокого давления V-5730	09Г2С-8	Нефть, пластовая вода, попутный газ	27	1,1	0,05	+200	+20...+150
3	Каплеотбойник факела низкого давления V-5810	09Г2С-8	Нефть, пластовая вода, попутный газ	20	0,35	0,35	+100 При пропарке +200	+20...+80

Таблица 16 - Режимный лист

Режимный лист: Факельное хозяйство

Дата: 16.12.14

Смена с 20-00 до 8-00  
Оператор ТУ  
Смена с 08-00 до 20-00  
Оператор ТУ

Тумаров  
Синица Н.М.

Время	Расход топливного газа на продувку (нм3) мгновенный													Расход газа после сепараторов (нм3) за 2 часа			
	ФВД1			ФВД2	ФВД3	ФВД					после V-5730	после V-5710	после V-5810	Общий расход	V-5730	V-5710	V-5810
	M5	M9	M11	M10	M14	M5	M9	M10	M11	M17	M13	M13	M13	M13	M13	M13	M13
6:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	10864	0	8986
8:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	99892	0	29160
10:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	103072	0	29164
12:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	102144	0	9388
14:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	169344	0	7096
16:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	120800	0	6596
18:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	124896	0	6120
20:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	123280	0	6036
22:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	126452	0	6500
24:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	123136	0	7064
2:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	106912	0	76960
4:00	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	90	14726	0	15964

	Факельные сепараторы									Дренажные емкости				Давление, МПа		
	V-5730			V-5710			V-5810			V-6096		V-6023		Факельные коллектора		
	Т °С	Р МПа	Н мм	Т °С	Р МПа	Н мм	Т °С	Р МПа	Н мм	Т °С	Н мм	Т °С	Н мм	после V-5730	после V-5710	после V-5810
6:00	22.1	0.005	106	36.4	0	472	49.2	0	777	26.2	429	-	-	0.002	0	0
8:00	28.0	0.005	204	36.5	0	472	49.5	0	379	29.6	430	-	-	0.002	0	0
10:00	28.0	0.009	205	36.2	0	472	49.6	0	379	34.0	432	-	-	0.004	0	0
12:00	28.1	0.004	202	37.1	0	473	50.1	0	379	35.9	432	-	-	0.001	0	0
14:00	27.2	0.016	185	37.2	0	472	50.6	0	379	32.5	434	-	-	0.007	0	0
16:00	28.0	0.010	197	37.3	0	473	51.1	0	378	33.1	434	-	-	0.004	0	0
18:00	27.6	0.008	199	37.3	0	473	51.4	0	377	40.6	433	-	-	0.003	0	0
20:00	27.5	0.010	189	37.6	0	474	52.4	0	373	42.6	431	-	-	0.005	0	0
22:00	27.4	0.007	201	37.7	0	472	52.4	0	377	43.1	434	-	-	0.004	0	0
24:00	27.4	0.006	208	38	0	473	53.6	0	376	44.8	436	-	-	0.004	0	0
2:00	27.6	0.006	192	38.2	0	472	52.1	0	376	48.1	438	-	-	0.004	0	0
4:00	27.6	0.007	196	38.2	0	472	52.0	0	379	46.1	437	-	-	0.005	0	0

Суточный расход газ на факел ВД 570-FT-008 - 1420480 нм3

Суточный расход газ на факел НД 570-FT-035 - 177884 нм3

Суточный расход газ на факел НД 570-FT-007 - нм3

Суточный расход затворный газ в факельные коллектора - нм3

Смена с 20-00 до 08-00

Смена с 08-00 до 20-00

Вахту сдал: [подпись]

Вахту принял: [подпись]

Вследствие обращения на ЦПС опасных веществ (см. таблицу 15) предприняты следующие меры безопасности:

- Надежность, безопасность и безаварийность работы объектов обустройства месторождения обеспечивается путем выбора оборудования, материалов, комплектующих, основных технических решений, методов и технологии строительства.
- Выбор оборудования, трубопроводов, материалов, комплектующих произведен в соответствии с параметрами технологического процесса, инженерно-геологическими и климатическими условиями района размещения площадки ФС, характеристиками обращающихся в аппаратах веществ.
- В качестве решений по исключению разгерметизации оборудования и предупреждению аварийных выбросов, принятых на площадке ФС ЦПС Ванкорского месторождения, можно выделить следующие:
  - технологические процессы утилизации факельных газов герметизированы;
  - с учетом минимальной температуры окружающей среды минус 60°C, оборудование, используемое на ФС, имеет климатическое исполнение УХЛ1 по ГОСТ 15150-69;
  - защита аппаратов под давлением и технологических трубопроводов от превышения давления выше расчетного предохранительными клапанами сброса давления.
  - антикоррозионное покрытие оборудования и трубопроводов в заводских условиях.
  - защита оборудования, технических устройств и трубопроводов от атмосферного воздействия, размещение оборудования в укрытиях, на складах (касается факельных насосов).
  - защита оборудования, технических устройств от статического электричества, молниезащита.



- защита от замерзания нанесением теплоизоляции и электрообогрев всех наружных установок и емкостного оборудования, трубопроводов внутриплощадочных и трубопроводов на эстакадах.
- резервирование насосного оборудования (факельные насосы).
- Высокая степень автоматизации производственных процессов, включающая:
  - местный и дистанционный контроль технологических параметров;
  - дистанционный контроль состояния отсечной и запорной арматуры;
  - дистанционный контроль насосного оборудования;
  - местный и дистанционный контроль давления, температуры в аппаратах под давлением;
  - местный и дистанционный контроль уровня жидкости в емкостном оборудовании;
  - измерение уровня вибрации насосного оборудования;
  - блокировку и сигнализацию по месту и дистанционно в пункты управления технологическим процессом по аварийным параметрам.
- электрооборудование размещено во взрывоопасных помещениях в соответствии с «Правилами устройства электроустановок».
- предусмотрены молниезащита и заземление трубопроводов и технологического оборудования. № 116-ФЗ.
- Предусмотрена установка запорно-отсечной арматуры, позволяющей отсечь их от соседнего оборудования в случае возникновения аварии. Установка запорной и отсечной арматуры на обвязочных трубопроводах выполнена в соответствии с действующими нормативными документами и обеспечивает возможность безаварийной работы трубопроводов, надежного отключения технологических аппаратов.
- На ЦПС в настоящее время действует АСУБ, предназначенная для реализации централизованного автоматизированного контроля и управления технологическими процессами и жизнеобеспечивающими системами, контроля состояния пожарной и газовой безопасности, а также для эффективной защиты и своевременной остановки технологического процесса при угрозе аварии и ее

локализации по заданным алгоритмам. АСУБ – полностью интегрированная, децентрализованная система контроля, управления и защиты, состоящая из подсистем, распределённых по объектам площадки ЦПС. В состав данной системы входит система управления и безопасности площадки ФС, АСУБ ФС. В структуре АСУБ выделяются следующие функциональные группы:

- система управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования;
- распределенная система управления технологическим процессом. Она выполняется на базе программируемых логических контроллеров и служит для контроля и управления процессом в автоматическом и автоматизированном режиме в соответствии с алгоритмами управления;
- система противоаварийной защиты, которая является независимой от распределенной системы управления системой безопасности и обеспечивает останов оборудования или перевод его в безопасное состояние при нарушении нормального хода технологического процесса. Система противоаварийной защиты выполняется на базе отказоустойчивых, резервированных промышленных контроллеров.

## **2.16 Требования к квалификации персонала**

Все работники, руководители и специалисты ООО «РН-Ванкор» проходят обучение действиям в случае возникновения аварий и инцидентов, а также предаттестационную подготовку в области промышленной безопасности. Сроки и периодичность аттестации в области промышленной безопасности определены в соответствии с требованиями законодательных и иных нормативных правовых и нормативных технических документов в области промышленной безопасности.

Все работники ООО «РН-Ванкор» проходят обучение и проверку знаний в области промышленной безопасности и охраны труда (инструктажи,

стажировка, проверка знаний производственных инструкций и др.) в соответствии с установленными требованиями.

## **2.17 Определение набора параметров и выбор основных показателей безопасной эксплуатации опасного производственного объекта**

Набор параметров и основные показатели безопасной эксплуатации включают:

- информацию по расследованию причин возникновения аварий, инцидентов и несчастных случаев на ЦПС, а также аналогичных опасных производственных объектах;
- результаты проверок, проводимых государственными надзорными органами, в том числе в области промышленной безопасности;
- результаты осуществления производственного контроля, а так других проверок проводимых на ЦПС в области промышленной безопасности;
- результаты идентификации опасностей и анализа риска и т.д.

*Информация по расследованию причин возникновения аварий, инцидентов и несчастных случаев на ЦПС*

На текущий момент на ЦПС аварий, инцидентов и несчастных случаев не было.

Проведен анализ аварий, происшедших на аналогичных объектах, или аварий, связанных с обращающимися опасными веществами. Перечень известных аварий, происшедших на аналогичных объектах, или аварий, связанных с обращающимися опасными веществами, по литературным источникам представлен в таблице 17.

**Таблица 17 - Сведения об авариях, происшедших на аналогичных объектах, или аварий, связанных с обращающимися опасными веществами**

№ п/п	Дата и место аварии	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основные причины	Масштабы развития аварии	Число пострадавших, ущерб
1	23 июля 1984 г. Лемонтовский нефтеперерабатывающий завод «Юнион Ойл», Ромеовилль, штат Иллинойс, США.	Взрыв и пожар на абсорбционной колонне	<p>Произошел разрыв абсорбционной колонны. Как раз перед взрывом оператор заметил горизонтальную трещину длиной 15 см на высоте 3 м от низа колонны. Он поднялся по лестнице и попытался закрыть входной клапан, но увидев, что длина трещины увеличилась до 60 см, бросился убежать. В этот момент колонна упала.</p> <p>Произошел разрыв колонны на уровне 3 м по сварочному шву, и 13,5 метровая верхняя часть колонны, весом в 20 тонн, обрушилась, свалившись на опору электропередач с напряжением 138 кВ. Содержимое колонны (79,5 м<sup>3</sup> пропан-бутана и 8,75 м<sup>3</sup> МЭА) вытекло. Образовалось облако паров, которое через несколько секунд воспламенилось. Произошел взрыв. Через 30 минут произошел еще один взрыв, когда в одном из аппаратов алкилационной установки взорвались пары СУГ, с последующим образованием огненного шара и огненных вспышек (ракет). Из-за взрыва облака паров была повреждена электростанция, обеспечивающая электричеством пожарный насос. Один из осколков упал на еще одну технологическую установку, вызвал на ней сильный пожар. Защитное ограждение против взрывов, находящееся на расстоянии 120 метров, также получило небольшие повреждения.</p>	-	17 человек погибли, 31 ранены, материальный ущерб не указан
2	1990 г. Россия. г. Новорославск. Новорославский НПЗ.	Взрыв облака ТВС с последующим пожаром.	Произошел взрыв парогазового облака. Выброс в атмосферу горючего газа произошел через сбросную трубу на высоте 50 м от поверхности земли вследствие срабатывания предохранительных клапанов, установленных на теплообменниковой аппаратуре, работающей под избыточным давлением около 4 МПа.	-	Пострадавших нет. Ущерб неизвестен
4	26.11.2000 «ООО «Тюменьтрансгаз», КС «таежная», газопровод «Ямбург – Тула II»	Возгорание на фильтре-сепараторе	Возгорание газа на обвязке фильтра-сепаратора	-	Пострадавших нет

Продолжение таблицы 17 - Сведения об авариях, происшедших на аналогичных объектах, или аварий, связанных с обращающимися опасными веществами

3	6.06.1998 Росташкинское месторождение, НГДУ «Южуренбургнефть» ОАО «Оренбургнефть», АГЗУ «Спутник Б 40-14-500»	Выброс нефтегазовой смеси, пожар	При подготовке к гидравлическому испытанию дренажной емкости ЗУ-1 в результате превышения статического давления произошло срабатывание предохранительного клапана СППК с выбросом нефтегазовой смеси через разгерметизированную дренажную емкость. Загорелась ППУ и ЗУ-1. Причина аварии – нарушение правил безопасности при проведении ремонтных работ, выполнение газоопасных работ без ИТР.	Пожар распространился на ППУ и технологический блок АГЗУ	Уничтожены АГЗУ «Спутник Б 40-14-500», и ППУ – 16/100.
4	26.11.2000 «ООО «Тюменьтрансгаз», КС «таежная», газопровод «Ямбург – Тула II»	Возгорание на фильтре-сепараторе	Возгорание газа на обвязке фильтра-сепаратора	-	Пострадавших нет
5	11.07.2004 НГДУ "Южуренбургнефть" ОАО "Оренбургнефть", Преображенское, пункт нефтеналива скважины N 302	Возгорание накопительной емкости нефти	Хлопок с последующим возгоранием накопительной емкости № 1	-	Пострадавших нет
6	08.02.2007г. ООО «Зенит-Химмаш»	Взрыва паров ЛВЖ внутри газосепаратора	Причиной взрыва паров легковоспламеняющейся жидкости внутри газосепаратора явилось грубое, причиной воспламенения паров могли быть или короткое замыкание, искрение переносной лампы, или курение.	-	Пострадавших – 5 человек
7	05.05.2007 г. ГПЗ УПГ-1 г. Белозёрный	Пожар на установке сепарации пластового газа	Произошёл взрыв ГВС в результате разгерметизации сепаратора, что привело к возникновению ударной волны	-	Погиб один человек
8	06.12.2009г. ОАО "АЗКиОС"	Взрыв из-за утечки в сепараторе	Взрыв на заводе Ангарской нефтехимической компании (АНХК), произошел из-за утечки водорода, который просочился наружу по образовавшейся трещине на сепараторе.	Обрушилось одноэтажное здание площадью 120 м <sup>2</sup> .	Погиб один человек
9	07.04.2010 г. ООО "Газпром добыча Астрахань"	Пожар на установке сепарации газа	На газоперерабатывающем заводе произошел пожар, причиной которого стала разгерметизация оборудования установки сепарации пластового газа высокого давления с последующей утечкой углеводородного сырья. Пожар был потушен через десять минут, никто не пострадал. Первое из шести производств было остановлено	-	Пострадавших нет
10	17.06.2014г. ОАО "Кинеш"	Факельное горение сепаратора	Произошла разгерметизация трубопровода от сепаратора с утечкой и последующим воспламенением при выводе в ремонт установки гидрокрекинга.	-	Пострадавших нет

Анализ основных причин происшедших аварий, представленных в таблице 17, позволил выделить следующие группы причин, характеризующиеся:

- ошибочными действиями персонала;
- нарушениями требований технологического регламента и федеральных норм и правил;
- коррозионный износ;
- механические повреждения;
- нарушение техники безопасности при ремонтных работах.

*Результаты проверок, проводимых государственными надзорными органами, в том числе в области промышленной безопасности*

Для ЦПС установлен режим постоянного государственного надзора в соответствии с Федеральным законом от 26.12.2008 № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля». Проверки в рамках постоянного государственного надзора проводятся систематически в соответствии с утвержденным графиком.

Западносибирским управлением Ростехнадзора ЗАО «Ванкорнефть» выдано предписание № 16-03/09-МТ от 22.09.2009г. Требования предписания выполнены. На текущий момент выявленные нарушения на исполнении отсутствуют, все нарушения выявленные государственными надзорными органами устранены своевременно.

Согласно данным «Информационного бюллетеня Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору» 2014 №5(74) на аналогичных объектах нефтегазодобывающей промышленности в результате проверок выявлены следующие недостатки:

- в отдельных организациях не проводят анализ состояния производственного контроля;
- не разрабатываются планы проверок;
- не осуществляю контроль за своевременным проведением диагностики технических устройств, применяемых на ОПО;

– не осуществляют контроль за соблюдением сроков выполнения и предоставления уведомлений о выполнении предписаний.

Безопасная эксплуатация ЦПС осуществляется на основании требований следующих нормативных документов введенных и действующих в ЗАО «Ванкорнефть»:

– Стандарт Общества «Система управления охраной труда и промышленной безопасностью», утвержден и введен приказом №464 от 04.06.2009 г.;

- Положение «Об управлении промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды ЗАО «Ванкорнефть», утверждено генеральным директором ЗАО «Ванкорнефть» 31.07.2008 г;

– Положение «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности в ЗАО «Ванкорнефть», утверждено приказом генерального директора ЗАО «Ванкорнефть» №734 от 31.12.2008 г.

Выполнение требований указанных документов обеспечивают проведение анализ состояния производственного контроля на ОПО, обеспечивают контроль за своевременным проведением диагностики технических устройств, применяемых на ОПО, а так же обеспечивают контроль за соблюдением сроков выполнения и предоставления уведомлений о выполнении предписаний

*Осуществление производственного контроля, а также других проверок проводимых на ЦПС в области промышленной безопасности*

Согласно действующему положению «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности в ЗАО «Ванкорнефть» на ЦПС организован производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности.

Результаты ПК отражаются в Журналах проверки состояния условий труда, имеющихся на объекте.

ООО «РН-Ванкор» представляет информацию об организации производственного контроля в территориальные органы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.06.1997 г. № 116-ФЗ на ЦПС осуществлена страховая защита имущественных интересов предприятия, на случай причинения ООО «РН-Ванкор» вреда жизни, здоровью или имуществу третьих лиц и окружающей природной среде в результате аварии при эксплуатации ОПО.

На объекте имеется весь требуемый перечень лицензий Ростехнадзора на виды деятельности, связанные с эксплуатацией объекта.

На ЦПС проводится профессиональная подготовка и противоаварийная подготовка персонала. Подготовка и аттестация специалистов ЦПС осуществляется в соответствии с требованиями Положения об организации работы по подготовке и аттестации специалистов организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, а также иными действующими государственными нормативными актами и положениями. Приказом от 06.04.2011г. в ЗАО «Ванкорнефть» создана Комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности.

На ЦПС действует система управления охраной труда и промышленной безопасностью ООО «РН-Ванкор» обеспечивающая управления производством и определяет единый порядок подготовки, принятия и реализации решений по осуществлению организационных, технических и санитарно-профилактических мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий труда.

Строгое соблюдение требований безопасности при эксплуатации ЦПС осуществляется по результатам производственного контроля путем проведения комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирования ЦПС, предупреждение аварий на этих объектах и



обеспечение готовности к локализации аварий и инцидентов и ликвидации их последствий.

Охрану объектов круглосуточно осуществляет вневедомственная охрана с применением современных средств охраны и контроля доступом. Численность персонала охраны определяется штатным расписанием охранной организации.

Для обеспечения безопасной эксплуатации факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 рекомендуется предусмотреть ряд организационных мероприятий, которые нужно осуществить при отступлении от требований ФНП и при применении СКДМ:

- разработать, утвердить в установленном порядке перечень документации, обеспечить эксплуатационный персонал исполнительной, нормативной и оперативной документацией по внедрению СКДМ на факельных сепараторах;
  - при внедрении СКДМ на факельных сепараторах провести обучение и инструктажи персонала по эксплуатации этой системы, а также провести проверку его знаний;
  - выполнить корректировку плана ликвидации возможных аварий, схемы оповещения, персонала, служб, ведомств, учреждений и предприятий о случившейся аварии с учетом внедрения СКДМ (по сигналу «Тревога» СКДМ).
- Выполнение указанных дополнительных мероприятий, направленных на уменьшение риска аварий, обеспечивает необходимую степень безопасности эксплуатации ФС.

Таким образом, при эксплуатации факельных сепараторов с отступлением от требований ФНП с учетом компенсирующих мероприятий, (внедрения СКДМ), а так же при выполнении дополнительных рекомендованных мероприятий направленных на уменьшение риска аварий, уровень безопасности факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 на ЦПС в целом можно считать приемлемым.

Проведенная оценка риска возможных аварий при эксплуатации факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 с отступлением от требований ФНП и с учетом компенсирующих мероприятий, а также анализ принятых мер

по их предупреждению показали, что на анализируемых объектах обеспечен достаточный уровень безопасности, соответствующий требованиям действующей НТД в области промышленной безопасности.

## **2.18 Требования промышленной безопасности, связанные с отступлениями от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, их недостаточностью или отсутствием**

Мероприятия, компенсирующие отступления от требований федеральных норм и правил, указаны в таблице 18.

Таблица 18 - Требования промышленной безопасности

<b>Требования ФНП</b>	<b>Требования промышленной безопасности, связанные с отступлениями от требований ФПН</b>	<b>Мероприятия, компенсирующие отступления от требований ФПН</b>
ФНП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»: - «п. 361. Объем работ, порядок и периодичность проведения технических освидетельствований в пределах срока службы оборудования под давлением определяется руководством (инструкцией) по эксплуатации и требованиями настоящих ФНП».	На ОПО «Пункт подготовки и сбора нефти (ЦПС)» допускается осуществлять внутренние осмотры факельных сепараторов V-5710, V-5730, V-5810 по результатам сведений мониторинга, осуществляемого системой комплексного диагностического мониторинга, но не реже 1 раз 8 лет.	Непрерывный мониторинг в процессе эксплуатации ФС с применением СКДМ

## **2.19 Перечень и обоснование достаточности мероприятий, компенсирующих отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности**

Достаточность принятых мер безопасности и мероприятий, компенсирующих отступления, обоснована результатами:

- применения методологии идентификации опасностей и анализа риска;
- анализа опыта эксплуатации подобных объектов;

- проверки отступлений от требований в области промышленной безопасности на их соответствие документам инженерных обществ;
- анализа данных по расследованию причин возникновения аварий, инцидентов и несчастных случаев аналогичных опасных производственных объектов;
- анализа результатов осуществления производственного контроля, а также иных проверок в области промышленной безопасности;
- анализа результатов проверок государственными надзорными органами;
- оценки соответствия условий эксплуатации.

### **3 Безопасность и экологичность проекта**

Совершенствование технологических процессов добычи, подготовки и транспортировки нефти и газа подразумевает использование новых средств автоматизации, телемеханики и управления процессами производства.

Внедрение новых технологий требует от работников соответствующего уровня знаний, владения техникой и технологией производства, а также соблюдения техники безопасности, предусмотренной правилами эксплуатации.

В ООО «РН-Ванкор» ведется работа по обеспечению и соблюдению безопасных условий труда, предупреждению и предотвращению ЧС, снижению уровня травматизма и числа аварий на производстве.

#### **3.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при работе оборудования**

Проектом предусматривается модернизация факельных сепараторов (ФС) поз. V-5710, V-5730, V-5810 с применением системы комплексного диагностического мониторинга (СКДМ).

ФС, входящие в состав факельных систем низкого и высокого давления, предназначены для очистки от капельной жидкости газа, сбрасываемого на факел, расположены на территории опасного производственного объекта – Центрального пункта сбора Ванкорского м/р. ФС поз. V-5710, V-5810 относятся к взрывопожароопасным объектам, в которых обращаются следующие опасные вещества: природный газ, газовый конденсат. ФС поз. V-5730 относятся к взрывопожароопасному объекту, в котором обращаются следующие опасные вещества: нефтяной газ, природный газ и газовый конденсат.

Перечень отклонений, их возможных причин и последствий при эксплуатации ФС указан в таблице 11 "анализ опасности отклонения технологических параметров от регламентных" раздела 2.11.

В результате наиболее опасных аварий (пожар, взрыв) на ФС высокого и низкого давления образуются следующие поражающие факторы для людей,

соседних зданий и сооружений, окружающей среды и самого объекта: ВУВ при взрывах облаков ТВС и тепловое излучение горящих разливов или горящего газа.

При наиболее вероятных авариях (разлив газового конденсата, выброс газа) происходит выброс опасных веществ, приводящих к загрязнению атмосферного воздуха, а также происходит образование разлива конденсата. Для персонала наиболее опасными являются зоны загазованности, возможно отравление нефтяным газом или парами газового конденсата.

При эксплуатации АРМ в операторной на работника могут оказывать влияние следующие опасные и вредные производственные факторы [29]:

- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенный уровень статического электричества;
- пониженная ионизация воздуха;
- статические физические перегрузки;
- перенапряжение зрительных анализаторов.

ЦПС является технологическим комплексом по подготовке сырой нефти к транспортировке, вид экономической деятельности можно определить как добыча сырой нефти и нефтяного (попутного) газа; класс профессионального риска - ХХХ. Соответственно, социальные тарифы на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний составляют 7,4% к начисленной оплате труда.

### **3.2 Проектные решения по обеспечению безопасности труда на проектируемом оборудовании**

Ванкорский производственный участок относится к северной строительно-климатической зоне, по климатическому подрайону – ІБ [26]

Согласно классификации климатических регионов РФ, для климатического пояса Іб средняя температура воздуха зимних месяцев составляет -41 °С, средняя скорость ветра 1,3 м/с.

Блок измерений и блок преобразований и предварительной обработки размещаются на площадке ФС объекта Х-9049. Блок передачи данных и блок вычислений (ЦВС) размещается в местной аппаратной (объект Х-9126). АРМ размещается в операторной (объект Х-49215). Существующий Интеграционный сервер зоны ЦПС расположен в центральной операторной (объект Х-9010).

ФС представляют собой горизонтальные цилиндрические аппараты со сферическими днищами, установленные на седловые опоры. На цилиндрической части корпуса и днищах расположены технологические штуцера, штуцера для установки средств контроля и автоматизации и люки. Сепараторы эксплуатируются на открытой площадке.

Площадки обслуживания предназначены для обслуживания технологических штуцеров, предохранительных клапанов и приборов, установленных на сепараторах.

В период эксплуатации обслуживающий персонал следит через АРМ за технологическим процессом в операторной Х-49215, а также проводит периодические обходы площадки ФС с целью контроля за исправным состоянием всех элементов ФС. Данный вид работ относится к категории Пб средней тяжести (к данной категории относятся работы с интенсивностью энерготрат 201 - 250 ккал/ч (233 - 290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением)[24].

Оптимальные нормы микроклимата приведены в таблице 19.

Таблица 19 - оптимальные нормы микроклимата в операторной Х-49215.

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средней тяжести - Пб	17-20	40-60	0.3-0.4
Теплый		20-23	40-60	0.2-0.3

Для поддержания оптимальных параметров воздушной среды

производства операторная оборудована системами центрального отопления и приточно-вытяжной вентиляции.

### **3.3 Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования**

Так как обслуживание и контроль работы сепараторов проводится на открытой площадке, не представляется возможным обеспечить нормируемые параметры микроклимата. Интегральный показатель условий охлаждения (обморожения) – ИПУОО определяем по уравнению [2]:

$$\text{ИПУОО} = 34,654 - 0,4664 \cdot t_{\text{в}} + 0,6337 \cdot V, \quad (7)$$

где ИПУОО - интегральный показатель условий охлаждения;

$t_{\text{в}}$  – температура воздуха, °С;

$V$  – скорость ветра, м/с.

Для данного климатического региона 1б, при температуре воздуха -41 °С и скорости ветра 1,3 м/с интегральный показатель условий охлаждения составит:

$$\text{ИПУОО} = 34,654 - 0,4664 \cdot (-41) + 0,6337 \cdot 1,3 = 54,6.$$

При данном значении ИПУОО риск обморожения – критический, продолжительность безопасного пребывания на холоде составляет не более 1 мин [12].

Эквивалентная температура воздуха с учетом температурной поправки определяется по уравнению [2]:

$$t_{\text{экв}} = t_{\text{в}} + v \cdot \Delta \quad (8)$$

где  $\Delta$  – температурная поправка на охлаждающее действие ветра, которая составляет  $\Delta = 2,5$  °С на каждый 1 м/с.

$t_{\text{в}}$  – температура воздуха, °С;

$V$  – скорость ветра, м/с.

$$t_{\text{экв}} = -41^{\circ}\text{С} + (-2,5 \cdot 1,3) = -41 - 3,25 = -44,25^{\circ}\text{С}$$

Эта величина характеризует класс условий труда по показателям микроклимата как 3.1 (вредный первой степени), при условии

предусмотренных регламентированных перерывов на обогрев (не более, чем через 2 часа пребывания на открытой территории)[19].

Поэтому, в целях защиты, обслуживающий персонал дополнительно обеспечивается комплектом СИЗ для каждого времени года, в обязательном порядке содержащем в том числе:

-в тёплое время года – хлопчатобумажные рукавицы, лёгкая хлопковая одежда, головной убор для защиты от солнечных лучей;

-в холодное время года – утеплённые рукавицы, термобелье, утеплённая верхняя одежда из ветронепродуваемого материала.

Ниже приведен расчет для обоснования теплоизоляции комплекта СИЗ в холодное время года.

Расчет средневзвешенной температуры кожи ведется по формуле [2]

$$t_k = 36,07 - 0,0354 \cdot g_m \quad (9)$$

где  $g_m$  – энерготраты, Вт/м<sup>2</sup>, в зависимости от категории выполняемых работ, которые для категории Пб составляют 145 Вт/м<sup>2</sup>

$$t_k = 36,07 - 0,0354 \cdot 145 = 30,94 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Необходимая теплоизоляция комплекта СИЗ [2] при этом составляет  $I_k = 0,681 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2$ .

Комфортный уровень теплового потока при температуре воздуха  $-40 \text{ } ^\circ\text{C}$  и выполнении физической работы с энерготратами 145 Вт/м<sup>2</sup> составляет

$$g_{п.к} = 96,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Реальный уровень теплового потока с поверхности тела определяется по формуле [2]:

$$g_{п} = (t_k - t_v)/I_k \quad (10)$$

$$g_{п} = [30,94 - (-40)]/0,681 = 104 \text{ Вт/м}^2.$$

Допустимое время непрерывного пребывания на холоде при использовании комплекта СИЗ определяется по формуле [2]:

$$T_{доп} = D/(g_{п} - g_{п.к}) \quad (11)$$

где  $D$  – допустимый дефицит тепла в организме человека, в расчетах принимают  $D = 52 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ .



$$T_{\text{доп}} = 52 / (104 - 96,5) = 52 / 7,5 = 6,93 \text{ ч,}$$

В обеденный перерыв работники обеспечиваются «горячим» питанием, при регламентированных перерывах (по 10 минут каждые 2 часа работы) находятся в помещении обогрева персонала, расположенном в здании операторной X-49215.

### 3.4 Обеспечение безопасности технологического процесса

Основными опасными веществами при эксплуатации факельных сепараторов являются газовый конденсат и попутный газ.

Газовый конденсат представляет смесь углеводородов метанового, нафтенного и ароматического ряда, воды и механических примесей.

Попутный нефтяной газ состоит в основном из метана, этана, пропана, бутана и изобутана, относится к воспламеняющимся газам[30].

ПДК веществ в воздухе рабочей зоны[3], указаны в таблице 20.

Периодичность отбора и контроля проб - не реже 1 раза в квартал.

Таблица 20 - Характеристика вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Характер воздействия на организм человека	Агрегатное состояние	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Углеводороды алифатические предельные C <sub>1-10</sub> (в пересчете на C)	Малоопасные вещества. Являются довольно сильными наркотиками, однако сила действия ослабляется из-за очень малой растворимости в крови. При обычных условиях физиологически индифферентны. Могут вызывать раздражение слизистых оболочек глаза, конъюнктивиты. При сильных отравлениях - пневмония, потеря сознания.	Газ	900/300	4 (Умеренно опасные вещества)

На площадке факельных сепараторов предусмотрено естественное и искусственное освещение. Так как работа по обслуживанию сепараторов, в основном, ведется днем, то основным является естественное освещение. Для освещения в условиях недостаточной видимости применяются светильники рабочего и аварийного освещения. Все светильники выполняются во взрывозащитном корпусе и оснащаются защитными козырьками от прямого попадания света в глаза.

Ниже приведен расчет освещенности площадки факельных сепараторов.

Освещаемую территорию условно представим в виде прямоугольника площадью :

$$S = L \cdot M \quad (12)$$

где  $S$  – площадь освещаемой территории,  $m^2$ ;

$L$  - длина площадки,  $m$ ;

$M$  - ширина площадки,  $m$ .

$$S = 30 \cdot 25 = 750m^2.$$

Необходимый световой поток для всей площадки определяется по формуле:

$$F = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot (Z/\eta) \quad (13)$$

где  $E_n$  - нормируемая освещенность для аналога площадки факельных сепараторов - компрессорных цехов газоперерабатывающих заводов[27] составляет 75 лк и соответствует разряду работ IV;

$S$  – площадь освещаемой территории,  $m^2$ ;

$K_z$  - коэффициент запаса, для ламп накаливания равен 1,15;

$Z$  - коэффициент минимальной освещенности (коэффициент неравномерности освещения), для ламп накаливания принимается равным 1,15;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока, равен 50%, т.к. работы ведутся на открытом воздухе и отражательные способности стен и потолка = 0.

$$F = 75 \cdot 750 \cdot 1,15 \cdot (1,15/0,5) = 194063 \text{ лм.}$$

Световой поток прожектора ПЗС-45А с лампой на 1000 Вт составляет  $FП=18600$  лм.

Количество прожекторов для необходимой освещенности рабочей площадки:

$$N = \frac{F}{F_{\Pi}}, \quad (14)$$

где N – количество прожекторов для необходимой освещенности рабочей площадки, шт.;

F – необходимый световой поток для всей площадки, лм;

F<sub>Π</sub> - световой поток прожектора, лм.

$$N=194063/18600=11$$

Шум и вибрация, создаваемые сепаратором, составляют незначительную долю в условиях работы.

Основными потребителями электроэнергии системы СКДМ являются аппараты и оборудование КИПиА, электрообогрев датчиков КИПиА. Общая установленная мощность проектируемой СКДМ 220 В составляет 7,1 кВт.

Система относится к потребителям третьей категории электроснабжения[16]. Оборудование системы мониторинга, размещенное в местной аппаратной (объект Х-9126) и оператора (объект 49215) подключается к существующему контуру заземления в соответствии с требованиями ПУЭ.

### **3.5 Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности.**

К наиболее значимым факторам риска аварий на ФС высокого и низкого давления (системы 57, 58) и связанных с ними угроз относятся:

1. Наличие в аппаратах значительного количества взрывопожароопасного вещества создает опасность аварийного выброса при разгерметизации оборудования (таблица 21). При эксплуатации ФС высокого и низкого давления обращаются следующие опасные вещества:

- в сепараторе V-5730 содержится 76,859 т газового конденсата и 1,254т попутного нефтяного газа;
- в сепараторе V-5710 содержится 97,093т газового конденсата и 1,120т попутного нефтяного газа;

- в сепараторе V-5810 содержится 14,239т газового конденсата и 0,242т попутного нефтяного газа.

2. Эксплуатация ФС производится под давлением (сепараторы V-5730, V-5710 под давлением 0,5МПа, сепаратор V-5810 под давлением 0,15МПа), что создает дополнительную опасность разгерметизации.

3. Коррозионная активность окружающей среды создает дополнительную опасность аварийной разгерметизации оборудования.

4. Нарушения технологического режима и работы систем защиты.

5. Неудовлетворительная система обучения производственного персонала, слабая дисциплина могут привести к нарушению технологического процесса, требований техники безопасности и охраны труда.

6. Физический износ оборудования может привести к его разгерметизации и разрушению.

7. Воздействие статического и атмосферного электричества создают опасность возникновения источников зажигания и, как следствие, возникновению взрывов и пожаров.

8. Воздействия природного характера или несанкционированные действия на территории объектов могут привести к разгерметизации или к нарушению технологического режима, в том числе неисправности системы управления.

Площадка факельных сепараторов является взрывопожароопасным объектом и, согласно действующим нормативным документам, относится:

-по взрывопожароопасности [14] к категории А;

-по классификации взрывоопасных зон [17, 31] к классу В-1г.

Критическими значениями параметров на факельных сепараторах являются. Превышение расчетных давления и температуры может привести к разгерметизации ФС и выбросу горячих сред в атмосферу (см. таблицу 13 "Данные о распределении опасных веществ по оборудованию" раздела 2.13.

Таблица 21 - Характеристика взрывопожароопасности рабочих веществ

Наименование вещества	Класс опасности	Температура, °С		Концентрационный предел воспламенения % объемн.	
		Вспышки	Самовоспламенения	Нижний предел	Верхний предел
Нефтяной газ (метан)	4 (Умеренно опасные вещества)	-	537	5	15

Полевые датчики КИП предусматриваются во взрывозащищенном исполнении с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» Ex(i), в обоснованных случаях - «взрывонепроницаемая оболочка» Ex(d). Приборы не имеющие соответствующей степени защиты установлены во взрывозащищенных коробках со степенью защиты «взрывонепроницаемая оболочка» Ex(d).

### **3.6 Обеспечение безопасности при аварийных и чрезвычайных ситуациях**

Существующие меры, принятые для обеспечения безопасной работы сепараторов V-5710, V-5730, V-5810:

1. Во избежание образования взрывоопасной смеси предусматривается непрерывная подача топливного газа в начало всех факельных коллекторов. В случае прекращения подачи топливного газа предусматривается автоматическая подача инертного газа.
2. Сепараторы оборудованы наружным электрообогревателем, чтобы обеспечить поддержание температуры содержимого аппарата выше 20°C — минимального значения температуры, необходимой для перекачки продукта, а также для предотвращения отложения парафина на стенках аппарата.
3. Сепараторы оборудованы приборами контроля технологических параметров:
  - измерение давления в сепараторе;
  - измерение и регулирование температуры;

-измерение уровня в сепараторе, контроль и регулирование предельных значений.

На время проведения работ и испытаний при сдаче системы комплексного диагностического мониторинга в эксплуатацию формирования и средства по ликвидации аварий на содержатся в постоянной готовности, а также подготовлен план предупреждения и ликвидации аварий.

Для защиты людей на время проведения работ по модернизации факельных сепараторов предусмотрены следующие мероприятия:

- для оповещения при возникновении ЧС рабочая бригада (монтажная, обслуживающая) снабжена мобильным комплектом радиостанции;
- бригада, выполняющая работы, оснащается аптечкой с необходимым запасом медикаментов и перевязочных материалов по установленному перечню, весь производственный персонал обучается способам оказания первой помощи пострадавшим при несчастных случаях;
- к работам на опасных производственных объектах допускаются работники, прошедшие обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, стажировку на рабочем месте, проверку знаний и практических навыков, проведение инструктажа по безопасности труда на рабочем месте и при наличии удостоверения, дающего право допуска к определенному виду работ;
- персонал рабочей бригады (монтажной, обслуживающей) оснащается средствами индивидуальной защиты (спецодежда, спецобувь, средства защиты головы – каска защитная, средства защиты рук - рукавицы брезентовые) и средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) соответствующих типов и марок;
- бригада (монтажная, обслуживающая) оснащается техническими средствами, оборудованными искрогасителями, инструментом искробезопасного исполнения, необходимыми средствами пожаротушения.

При возникновении аварийной ситуации (пластическая деформация, образование трещин коррозионной или усталостной природы, образование свищей в корпусах газосепараторов поз. V-5710, V-5730, V-5810) система

комплексного диагностического мониторинга формирует сигнал «Тревога» с выводом на АРМ оператора вариантов дальнейших действий.

Система комплексного диагностического мониторинга интегрируется с существующей системой противоаварийной защиты, при этом предусматривается возможность остановки технологического процесса по решению оператора при возникновении аварийной ситуации. При получении сигнала «Тревога» оператор информирует персонал объекта, руководителей и соответствующие службы ООО «РН-Ванкор».

В ООО «РН-Ванкор» ежегодно заключаются договоры на обслуживание объектов общества со специализированными аварийно-спасательными формированиями, привлекаемыми для ликвидации ЧС. Все формирования, привлекаемые для ликвидации ЧС, обеспечены соответствующими силами и средствами для локализации и ликвидации ЧС.

### **3.7 Экологичность проекта**

Производство по переработке и очистке нефти, попутного нефтяного и природного газа относят к I классу по санитарной классификации [23], то есть санитарно-защитная зона - 1000 м. В санитарно-защитной зоне не допускается размещать: жилую застройку, включая отдельные жилые дома, ландшафтно-рекреационные зоны и т. д. Допускается размещать в границах санитарно-защитной зоны здания и сооружения для обслуживания работников объекта, то есть нежилые помещения для дежурного аварийного персонала, помещения для пребывания работающих по вахтовому методу (не более двух недель), здания управления, здания административного назначения, местные и транзитные коммуникации, ЛЭП, электроподстанции, нефте- и газопроводы и т.д.

Для уменьшения выбросов легкой фракции углеводородов в атмосферу в период эксплуатации обслуживающий персонал следит за исправным состоянием всех элементов ФС. При этом особое внимание обращается на сварные швы, фланцевые соединения, включая крепежные изделия, антикоррозионную защиту и изоляцию, дренажные устройства, опорные

конструкции, арматуру (в том числе регулирующие устройства), приборы и средства контроля и автоматизации. Факел оборудуется системой дистанционного розжига горелок.

Комплекс ЦПС, на котором расположена площадка факельных сепараторов, обслуживается персоналом ООО «РН-Ванкор». Метод работы - вахтовый. Проживание предусмотрено в общежитиях на территории Опорной базы промысла Ванкорского месторождения. Технологические процессы на объектах ЦПС являются высокоавтоматизированными и не требуют постоянного присутствия персонала у технологического оборудования.

Для обеспечения проживания персонала на ОБП используются существующие системы, расположенные на месторождении:

- Подача электроэнергии и нагрев теплоносителя для обогрева помещений - от газотурбинной электростанции мощностью 200 МВт;

- Водоснабжение - по системам водоводов от водозаборов на р.Б.Хета и оз.Делингдэ с предварительной подготовкой (очисткой и дезинфекцией) на станции БОВ (биологической очистки воды);

- Водоотведение - в существующую систему утилизации бытовых и промливневых стоков (предусмотрена также очистка воды и повторное использование на технологические нужды);

- Размещение и обезвреживание отходов - на полигоне ТБО и ЖБО (с возможностью утилизации в инсинераторе);

Для экономии электроэнергии и повышения энергоэффективности при построении системы электроснабжения предусмотрено:

- построение рациональных схем электроснабжения и управления сооружений в целях уменьшения потерь в распределительных сетях за счет размещения в центре нагрузок распределительных щитов, шкафов управления и распределения электроэнергии;

- технический учет потребляемой электроэнергии, который выполняется электронными счетчиками.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы все цели были достигнуты. Разработан прогноз безопасной работы факельных сепараторов в режимах без отступлений от норм и с отступлением от норм (при внедрении системы комплексного диагностического мониторинга в качестве компенсирующего мероприятия).

Модернизация факельных сепараторов площадки ЦПС с применением системы комплексного диагностического мониторинга не увеличивает значения показателей рисков аварии.

Применение системы комплексного диагностического мониторинга (СКДМ) позволяет проводить оценку технического состояния и определять срок безопасной эксплуатации факельных сепараторов без вывода их из эксплуатации, что позволяет значительно увеличить срок непрерывной эксплуатации сепарационного оборудования (с 2 до 8 лет), при этом на данных объектах обеспечивается достаточный уровень безопасности, соответствующий требованиям действующей нормативно-технической документации в области промышленной безопасности.

Отличительной особенностью проведения диагностического мониторинга является его долговременный характер. Очевидно, что при таком подходе существуют значительные преимущества:

- непрерывный контроль за техническим состоянием факельных сепараторов;
- возможность локализации и установления динамики развития повреждений;
- автоматизация сбора и обработки большого массива данных;
- снижение роли человеческого фактора в оценке результатов диагностирования;
- увеличение срока службы факельных сепараторов;
- снижение затрат на проведение периодических обследований и ремонт ФС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безопасность жизнедеятельности : учеб.-метод. пособие для выполнения раздела «Безопасность и экологичность» выпускной квалификационной работы [Электронный ресурс] / сост. : Е. В. Мусияченко, А. Н. Минкин. – Электрон. дан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016
2. Безопасность и экологичность проекта: учеб. пособие /Ю. Н. Безбородов, Н. Д. Булчаев, Л. Н. Горбунова, Н. Н. Позднякова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 148 с
3. ГН 2.2.5.1313-03 гигиенические нормативы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны; введ. 15.06.2003 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901862250>
4. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; введ. 29.09.1988 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_136698/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_136698/)
5. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов – Взамен ГОСТ 18353-73; введ. 01.07.1980. - Контроль неразрушающий. Методы: Сборник стандартов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2005
6. ГОСТ Р ИСО 12716-2009 "Контроль неразрушающий. Акустическая эмиссия. Словарь"; введ. 01.01.2011 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-12716-2009>
7. Журнал “В МИРЕ НК” № 3, сентябрь 2008 "Автоматизированные системы комплексного коррозионного мониторинга и перспективы применения метода АЭ в их составе" Харебов В.Г., Попков Ю.С.
8. Журнал "Территория NDT" №1 январь-март 2014 "Система комплексного диагностического мониторинга ООО "ИНТЕРЮНИС" Бородин Ю.П., Черных М.В., Журавлев А.Е.

9. Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа: Учебное пособие для вузов нефтегазового профиля. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2005. – 312с.
10. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах - введ. 10.07.2009 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/fz\\_404.doc](http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/fz_404.doc)
11. Мониторинг | ООО "Интерюнис" - [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.interunis.ru/ru/monitoring.html>
12. МР 2.2.7.2129-06 "Физиология труда и эргономика. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Методические рекомендации"; введ. 19.09.2006 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_67073/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_67073/)
13. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Крюева. Т.7: В 2 кн. Кн.1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии / Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.: ил.
14. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности; введ. 01.08.2003 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032102>
15. ПБ 03-591-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации факельных систем - введ. 10.06.2003 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_469.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_469.html)
16. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств; введ. 21.06.2003 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/11/11832/](http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/11/11832/)

- 17.ПУЭ Правила устройства электроустановок. Издание 7; введ. 08.07.2002 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/7/7177/](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/7/7177/)
- 18.Применение акустической эмиссии для исследования и контроля коррозионных процессов: Учебн. пособие. М.: МИФИ, 1990. 72 с.
- 19.Р 2.2.2006–05 "Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда"; введ. 01.11.2005 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973>
- 20.РД 03-409-01 Методика оценки последствий аварийных взрывов топливовоздушных смесей, НТЦ Промышленная безопасность; введ. 26.06.2001 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://rostexnadzor.msk.ru/files/RD\\_03-409-01.doc](http://rostexnadzor.msk.ru/files/RD_03-409-01.doc)
- 21.РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов, НТЦ Промышленная безопасность; введ. 01.09.2001 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/10/10314/](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/10/10314/)
- 22.РД 03-496-02 Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Ростехнадзора России» - введ. 29.10.2012 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=851](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=851)
- 23.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов; введ. 15.05.2003 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/11/11774/](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/11/11774/)
- 24.СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений"; введ. 01.10.1996 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_333.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_333.html)

- 25.СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности; введ. 01.05.2009 - [электронный ресурс], режим доступа: [https://www.osu.ru/sites/opb/doki\\_htm/doki\\_htm\\_p\\_b/doki\\_htm\\_fed/sp12.htm](https://www.osu.ru/sites/opb/doki_htm/doki_htm_p_b/doki_htm_fed/sp12.htm)
- 26.СП 131.13330.2012 "Строительная климатология"; введ. 01.01.2013 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546>
- 27.СП 4156-86 "Санитарные правила для нефтяной промышленности"; введ. 15.10.1986 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/415686Sanitarnyepraviladl.html>
- 28.Специальный выпуск журнала "Мониторинг. Наука и безопасность" - "Системы кдм гражданских и промышленных объектов" Харебов В.Г., Ефремов М.И.
- 29.ТОИ Р-45-084-01. "Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере"; введ. 01.07.2001 - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_79762/8b2ed343ae4bcf0636cce936afa1156fb10b78ae/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_79762/8b2ed343ae4bcf0636cce936afa1156fb10b78ae/)
- 30.Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/)
- 31.Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" - [электронный ресурс], режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/)
- 32.ФНП Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств; введ. 11.03.2013 - [электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499013213>

33.ФНП Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением; введ. 25.03.2014 - [электронный ресурс], режим доступа:

<http://www.gosnadzor.ru/industrial/equipment/acts/ФНП%20ОРПД%20рег%20Минюст%20релиз.pdf>

34.Physical Acoustics Corporation (PAC) - Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK), 9-ое издание, т. 17, ASM International (1989):с. 278-294